

DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT METHOD BASED ON PIXEL COLOR

Publication number: JP2002133409

Publication date: 2002-05-10

Inventor: GALLAGHER ANDREW C; GINDELE EDWARD B

Applicant: EASTMAN KODAK CO

Classification:

- International: **G06T11/60; G06T5/20; G06T7/00; H04N1/409; H04N1/46; H04N1/60; G06T11/60; G06T5/20; G06T7/00; H04N1/409; H04N1/46; H04N1/60; (IPC1-7): G06T5/20; G06T7/00; G06T11/60; H04N1/409; H04N1/46; H04N1/60**

- European: G06T5/20

Application number: JP20010277203 20010912

Priority number(s): US20000661268 20000913

Also published as:

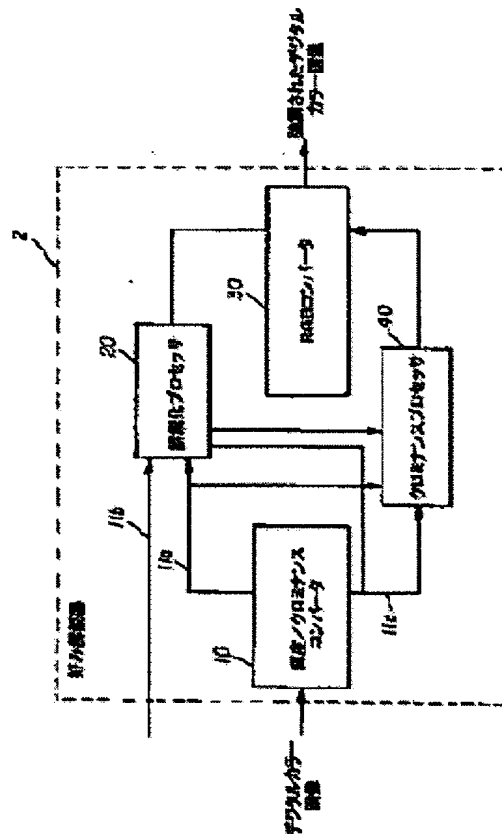


EP1209621 (A2)
US6856704 (B1)
EP1209621 (A3)
EP1209621 (B1)
DE60114974T (T2)

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2002133409

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for independently controlling enhancement to be applied to details, large edges and noisy areas. **SOLUTION:** The method for enhancing a color digital image comprises first specifying local points or their vicinities of pixels, including an object pixel and then using a color value for one or more pixels at the local point or its vicinity for calculating the weighting factor for the object pixel. A space filter is applied to values for the pixels at the local points or their vicinities for calculating first and second signal values for the object pixel. A color weighting factor is used for correcting either the first or second value, and the enhanced pixel value is generated for the object pixel with the combination of the first and second values. This process is repeated for other pixels for the color digital image.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-133409

(P2002-133409A)

(43) 公開日 平成14年5月10日 (2002.5.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 6 T 5/20		G 0 6 T 5/20	B 5 B 0 5 0
7/00	1 0 0	7/00	1 0 0 D 5 B 0 5 7
11/60	1 2 0	11/60	1 2 0 A 5 C 0 7 7
H 0 4 N 1/409		H 0 4 N 1/40	1 0 1 D 5 C 0 7 9
1/46		1/46	Z 5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-277203(P2001-277203)

(22) 出願日 平成13年9月12日 (2001.9.12)

(31) 優先権主張番号 6 6 1 2 6 8

(32) 優先日 平成12年9月13日 (2000.9.13)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 590000846

イーストマン コダック カンパニー
 アメリカ合衆国、ニューヨーク14650、ロ
 チェスター、ステイト ストリート343

(72) 発明者 アンドルー シー ギャラガー

アメリカ合衆国 ニューヨーク 14626
 ロチェスター ベンネルズ・ドライブ
 310

(74) 代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

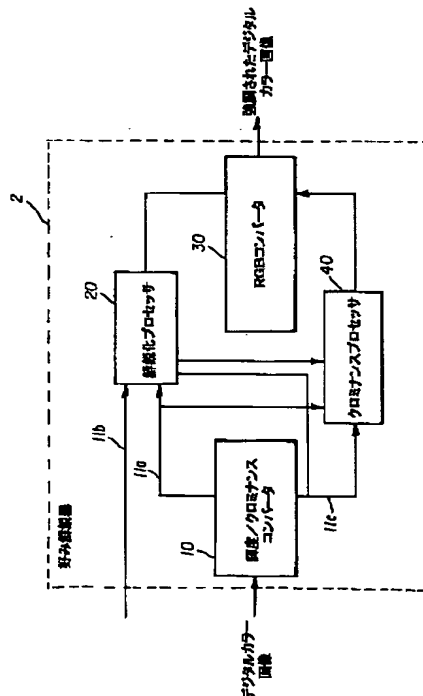
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ピクセルカラーに基づくデジタル画像強調方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、細部、大きなエッジ、及びノイズのある領域に適用される強調を独立に制御できる方法の提供を目的とする。

【解決手段】 本発明は、カラーデジタル画像の強調する方法であり、第1に対象ピクセルを含むピクセルの局所近傍を特定し、その後、局所近傍からの一若しくはそれ以上のピクセルのカラー値を使用して対象ピクセルに対する重みファクターを計算する。空間フィルタは、局所近傍からのピクセルの値に適用されて対象ピクセルに対する第1の信号値と第2の信号値を計算する。カラー重みファクターは、第1の値若しくは第2の値のいずれかを修正するために使用され、強調されたピクセル値は、第1の値及び第2の値の組み合わせにより対象ピクセルに対して生成される。本プロセスは、カラーデジタル画像の他のピクセルに対して反復される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 カラーデジタル画像を表すカラー値を有する複数のピクセルから成るカラーデジタル画像を強調するデジタル画像処理方法であって、

a) 対象となる対象ピクセルを含む局所的な近傍を特定し、

b) 上記局所的な近傍からの上記一又はそれ以上のピクセルのカラー空間における位置の略連続関数である、上記対象ピクセルに対するカラー重み付けファクターを、計算するため、上記局所的な近傍からの一又はそれ以上のピクセルの上記カラー値を使用し、

c) 上記対象ピクセルに対する第1の信号値と第2の信号値とを計算するため、上記局所的な近傍からのピクセルの値に空間フィルタリング処理を適用し、

d) 上記第1又は上記第2の値のいずれかを修正するため、上記カラー重み付けファクターを使用し、

e) 上記第1又は上記第2の値から上記対象ピクセルに対する強調されたピクセル値を生成し、

f) 上記デジタル画像内の他のピクセルに対してステップa)乃至e)を繰り返すステップを含むデジタル画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的には、デジタル画像処理の分野に係り、より詳細には、デジタル画像のテクスチャーを強調する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】デジタル画像の見かけのシャープネスを増加させる、アンシャープマスキング技術のような従来方法は、しばしば画像の大きな遷移エッジで望ましくないアーチファクトを生成する。例えば、アンシャープマスキングは、しばしば次の式によって表される。

【0003】

【数1】

$$Sproc = Sorg + B(Sorg - Sus)$$

ここで、 $Sproc$ は高周波数の成分が増幅された処理された画像信号を表し、 $Sorg$ は原画像信号を表し、 Sus は、一般的には原画像をフィルタリング処理して得られた平滑化された画像信号であるアンシャープ画像信号を表し、 B は高周波数強調係数を表す。

【0004】アンシャープマスキング処理は、線形のシステムとしてモデル化されてよい。従って、 $Sproc$ のどの周波数の大きさも $Sorg$ の画像信号の周波数の大きさに直接的に依存している。この重ね合わせの原理の結果として、 $Sorg$ における大きなエッジはしばしば、所望レベルの高周波数強調が $Sproc$ 信号の他の領域において実行されたとき、 $Sproc$ 信号においてリングアーチファクトを表示するだろう。このリングアーチファクトは、大きなエッジのまわりの明る

い若しくは暗い輪郭として現われ、視覚的に好ましくない場合がある。

【0005】ノイズの低減を目的とした局所的な統計値に基づく多くの非線形フィルタが存在する。例えば、メディアンフィルタは、本業界において周知技術である。このフィルタでは、ノイズの低減を実現するため、一般的に各ピクセルは、ある周囲近傍の中央値によって置き換えられる。このフィルタリング処理は、衝撃的なノイズを除去するのには一般的に非常にうまくいく。しかしながら、処理画像は原画像に比して若干不鮮明にみえる。

【0006】局所的な統計値に基づく非線形フィルタのその他の例としては、局所的なヒストグラムの等化があり、書籍Digital Image Processing, Second Edition, John Wiley & Sons, 1991のページ278乃至284でWilliam Prattにより適応ヒストグラム修正と称されている。このフィルタを用いると、ピクセル値は局所ウィンドウの累積ヒストグラムによって修正される。この技術は、デジタル画像の各領域のコントラストを効果的に調整し、画像の一定領域の局所的なコントラストを効果的に増加し、他の領域のコントラストを減少させる。この技術は、所与の領域の見かけのシャープネスを増加しようとするものでない。また、この技術は、典型的なリングアーチファクトが発生しないことを保証しない。

【0007】アーチファクトを発生させることなく、或いはノイズの顕著性を強調することなく、画像の見かけを鮮鋭化する多くのアルゴリズムが存在する。米国特許第4,571,635号では、MahmoodiとNelsonは、局所的な近傍での画像ピクセル値の標準偏差に依存して高域デジタル画像情報を拡大するのに使用される強調係数 B を導出する方法を教授する。更に、米国特許第5,081,692号では、KwonとKiangは、強調係数 B は、中央重み付け分散計算に基づくことを教授する。しかし、Mahmoodi他とKwon他の双方とも、撮像システムにおいて固有のノイズの所期の標準偏差を考慮しない。撮像システムにおいて固有のノイズの所期の標準偏差を考慮しないことによって、Mahmoodi他とKwon他の双方は、全ての画像ソースと強度は、同一のノイズ特性を有すると暗に仮定をしている。更に、双方ともにテクスチャーとエッジ領域とに対して分離した方策を行わない。

【0008】米国特許第4,794,531号では、Morishita他は、中心ピクセルと近傍ピクセルとの間の絶対差に基づく近傍ピクセルへの重みを有するフィルタを用いてアンシャープ画像を形成する方法を教授する。Morishitaは、この方法は鮮鋭化された画像のエッジで見られるアーチファクトを効果的に減少させること（従来のアンシャープマスキング処理と比較して）を主張する。更に、Morishitaは、局所標準偏差と全体画像の標準偏差とに基づくゲインパラメータ（画像強調の度合い）を設定する。また、Morishitaは、信号対ノイズ比を近似す

べく、撮像システムにおいて固有のノイズレベルを考慮しない。更に、Morishitaの方法は、エッジ再構築の量について明確な制御を提供しない。

【0009】米国特許第5,038,388号では、Songは、画像の高周波数成分を適宜的に増幅することによる、画像ノイズを増幅することなく画像詳細部を増幅する方法を教授する。画像ノイズ出力の推定値が使用され、このノイズ出力は強度若しくはピクセルに依存しているように示されていない。更に、Songは、鮮鋭化のレベルを制御するために信号対ノイズ比を推定することをしない。

【0010】米国特許第4,689,666号では、Hatanakaは、カラーデジタル画像のノイズ成分を低減するためにカラーデジタル画像のカラー特性を使用する方法を開示する。Hatanakaは、各画像のピクチャー素子に対して色データを抽出し、抽出された色データを基に特定の色を呈するカラーデジタル画像の領域を区分し、特定色を呈する領域と呈しない残りの領域とに対する異なる処理条件下でノイズ除去のための空間的画像処理に画像信号をかける方法を説明する。したがって、Hatanakaによって教授された方法は、基本的なステップとして、特定色に

属する、若しくは属しないとしての各ピクセルの区分若しくは区別を有する。段階色区分は、色識別処理のオンオフ特性に起因して処理画像のムラを引き起こすことができる。

【0011】米国特許第5,682,443号では、GouchとMacDonaldは、空間的シャープネス特性強調を目的としたカラーデジタル画像処理方法を開示する。原カラーデジタル画像の各カラーチャンネルを原カラーチャンネルの空間周波数成分にのみ基づいて2つの部分に分離するアンシャープマスキング法が、説明される。原カラーチャンネルと原カラーチャンネルの低い空間周波数成分との間の差異は、縞(fringe)成分若しくは原カラーチャンネルの高い空間周波数成分を形成する。GouchとMacDonaldは、低い空間周波数成分若しくは原ピクセル値のいずれかの色に基づく縞成分を修正する方法を教授する。鮮鋭化される考慮される色は、同一色のカラーチャンネルから導出される。彼らの特許は、この性質を具現する好ましい方法は、色の数学的連続関数を使用することを開示する。GouchとMacDonaldによって開示された方法は、空間的細部を強調するための画像特性として色をうまく利用する。しかし、GouchとMacDonaldによって採用されたアンシャープマスキング手順は幾らかの欠点を有する。第1に、彼らの方法は、カラーデジタル画像の各カラーチャンネルが説明されたアンシャープマスキング処理を受ける場合を考慮するのみである。縞データを修正するのに使用される可変の重みは、全てのカラーチャンネルから導出される。彼らの方法は、画像が輝度チャンネルとクロミナンスチャンネルの集合として表現されるときによくあるのだが、カラーデジタル画像からの1つだけのデジタル画像チャンネルが鮮鋭化される場合を考慮し

ない。更に、GouchとMacDonaldは、修正された縞データが原ピクセルデータに結合されることを必要とする。しかし、多くのアプリケーションでは、修正された縞データが加算されるべき信号を修正することが好ましい。従って、彼らの方法は、修正された縞データが結合される信号を修正することが望ましい場合を考慮することがなかった。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従って、アンシャープマスキング技術により露呈するリンググアーチファクトを最小化し、且つノイズに敏感な態様で風景の細部の大きさを強調しつつ、より鮮鋭であり、或いはより焦点の合う画像信号を生成するためデジタル画像を操作する他にとりうる方法に対する必要性が存在している。

【0013】本発明の目的は、細部、大きなエッジ、及びノイズのある領域に適用される強調を独立に制御できるようにすることにある。

【0014】本発明は、一若しくはそれ以上の上述した問題点を克服することに向けられる。

【0015】

【課題を解決するための手段】簡略的に要約すると、本発明の一局面によると、本発明は、カラーデジタル画像の強調する方法に帰し、第1に対象ピクセルを含むピクセルの局所近傍を特定し、その後、局所近傍からの一若しくはそれ以上のピクセルのカラー値を使用して対象ピクセルに対する重みファクターを計算する。ここで、カラー重みファクターは、色空間の局所近傍からの一若しくはそれ以上のピクセルの位置の略連続関数である。空間フィルタは、局所近傍からのピクセルの値に適用されて対象ピクセルに対する第1の信号値と第2の信号値を計算する。カラー重みファクターは、第1の値若しくは第2の値のいずれかを修正するために使用され、強調されたピクセル値は、第1の値及び第2の値の組み合わせにより対象ピクセルに対して生成される。本プロセスは、カラーデジタル画像の他のピクセルに対して反復される。

【0016】本発明は、画像の局所カラーの推定値に関連したファクターによりテクスチャー信号を増強する効果を有する。従って、草原の緑のような一定の局所カラーを有したデジタル画像チャンネルの領域に一致したテクスチャー信号は、画像システムのノイズだけでなく草の多くの穂先に起因して、変調だけが撮像システムから発生するノイズである可能性が高いところの鮮明な青空の大きな領域のような、一定の他の局所カラーに関係するテクスチャー信号の部分と比較して、より大きなレベルの増強を受ける。それ故、ノイズ変調だけを有する領域の増幅を増加することは望ましくないで、風景の実際の変調に起因すると考えることができるような変調を増強することが好ましい。本発明では、局所カラー関数は、選択器として、例えば風景における2つの所定の種

の領域間を、識別するために使用されてよい。

【0017】本発明のこれらの及び他の局面、目的、特徴、並びに効果は、添付図面を参照して、後続する好ましい実施例の詳細な説明と請求の範囲を精査することにより、よりはっきりと理解され認識されるだろう。

【0018】

【発明の実施の形態】次の説明において、本発明は、ソフトウェアプログラムとして実行される方法として説明されるだろう。当業者であれば、かかるソフトウェアの均等物がハードウェアにおいて構成されてもよいことを容易に認識するだろう。画像を強調するアルゴリズム若しくは方法は公知であるので、本説明は、本発明による方法を構成するか、若しくは本方法とより直接的に協働する部分を形成するアルゴリズムと方法ステップに特に向けられる。かかるアルゴリズムと方法の他の部分、及び画像信号を生成しその他処理するためのハードウェア及び／又はソフトウェアは、ここで特に説明や図示されないが、本業界において知られている材料、コンポーネント、及び素子等から選択されてよい。本発明に従って説明されるシステムを以下の材料において付与するとき、ここで特に図示され、提案され或いは説明されていない、本発明の実現のための有用なソフトウェアは、従来のであり、かかる分野の通常的な創作の範囲内である。

【0019】本発明は、光の強度に対応する赤、緑、及び青のピクセル値の典型的な2次元アレイであるデジタルカラー画像を利用することを注意されることが有用である。ここで用いられる用語であるデジタル画像は、カラー画像、特に全体としての2次元アレイ、若しくは処理されるべき部分を指す。更に、好ましい実施形態は、1024のピクセル列と1536のピクセルラインの画像を参照して述べられるが、当業者であれば異なる解像度や異なる次元のデジタル画像が、同等に、或いは少なくとも許容できる結果を以って、使用されてよいことを認識するだろう。用語に関しては、デジタル画像のx番目の行とy番目の列を指す座標(x,y)に位置するデジタル画像のピクセルの値は、位置(x,y)での赤、緑、及び青のデジタル画像チャンネルの値をそれぞれ指す3組の値[r(x,y), g(x,y), b(x,y)]をここでは含むものとする。この点において、デジタル画像は、ある一定の数のデジタル画像チャンネルを含むように考慮されてよい。デジタル画像が赤、緑、及び青の2次元アレイを含む場合、画像は、3つのチャンネル、即ち赤、緑、及び青のチャンネルを含む。更に、輝度チャンネルnは、カラーチャンネルから形成されてよい。デジタル画像チャンネルのx番目の行とy番目の列を指す位置(x,y)でのデジタル画像チ

ャンネルnのピクセル値は、 $n(x,y)$ と称される単一値であるだろう。

【0020】図1に示される本発明の概要を参照するに、デジタル画像は、実行者の好みに対して入力デジタル画像を鮮鋭化する好み鮮鋭化器2に入力される。好み鮮鋭化器2の目的は、ノイズを強調しないで、或いはアーチファクトを作成しないで、デジタル画像に存在する細部を強調することである。この目的は、画像細部に対応する信号であって、画像エッジに対応し、以下に詳細に述べる画像信号対ノイズの比(SNR)に対応する信号に、デジタル画像チャンネルを分解する処理によって実現される。この分解と分離信号の作成は、細部と、大きなエッジとノイズのある領域とに適応される独立した強調の制御を可能とする。好み鮮鋭化器2の出力は、本発明によって、デジタル画像を鮮鋭化する従来手段で実現できるよりもよりシャープでより自然に見えるデジタル画像を含む。この発明の特定のアプローチは、局所的な色に基づき細部に適用される強調の独立的な制御に係るが、図11及び図15Bに関連して、好ましい実施例に含まれる他の要素が介在する図に関連して説明された後、詳細に説明されることになる。

【0021】図2は、好み鮮鋭化器2のブロックダイアグラムを示す。デジタルカラー画像とノイズ情報(ノイズテーブル6の形式)は、好み鮮鋭化器2に入力される。ノイズ情報は、輝度テーブルの形式で入力される。デジタル画像は、輝度/クロミナンスコンバータ10に、輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ と2つのクロミナンスデジタル画像チャンネル $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ とを生成すべく、入力される。輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ と輝度ノイズテーブルは、システムノイズの知識に基づいてデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ を強調する好み鮮鋭化器2に、それぞれライン11aと11bによって入力される。コンバータ10で実行される変換であって、一般的には分離された赤、緑、及び青の画像チャンネルを含むRGB空間内のデジタルカラー画像から、輝度-クロミナンスカラー空間への変換は、カラー空間マトリックス変換によって実行され、本業界において公知であるが、輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ と2つのクロミナンスデジタル画像チャンネル $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ とを生じる。本発明によると、より後において説明されるように、2つのクロミナンスデジタル画像チャンネル $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ は、鮮鋭化プロセッサ20に入力される。好ましい実施例では、輝度-クロミナンス空間へのマトリックス変換は、次の式で表されるのがよい。

【0022】

【数2】

$$\begin{bmatrix} n(i, j) \\ gm(i, j) \\ ill(i, j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \\ -1/2 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r(i, j) \\ g(i, j) \\ b(i, j) \end{bmatrix} \quad (A1)$$

式A1は、RGB空間から輝度－クロミナンス空間へのマトリックス・ローテーションを提供し、よって（後述される）トーンスケール関数が動作できる基礎となる単一のチャンネルに孤立させるものである。例えば、フィルム走査機は、（各ピクセルに対して）その点での赤、緑及び青の印字濃度を記録する。これらの3つの値は、3次元におけるピクセルの位置として考えることができる。コンバータ10は、式A1に示されるように軸回転を実行し、 $R=G=B$ となる中立軸と、2つの色の異なる軸である緑－マゼンタと照度とを規定する。式A1によって特定されるマトリックス・ローテーションを使用する以外に、 $CIE^*L^*a^*b^*$ 若しくは $CIE^*L^*u^*v^*$ のような標準カラー空間表現も代替的に輝度／クロミナンスコンバータ10によって決定されてもよい。これらのカラー空間は、画像処理の分野において公知である。

【0023】鮮鋭化プロセッサ20へ入力されるノイズテーブルは、信号強度レベル*i*とその強度レベルに対するノイズの予想量 $\sigma_N(i)$ との関係を提供する。好ましい実施例では、より詳細に説明されるように、ノイズテーブルは2行のテーブルであり、第1行は強度レベル*i*を表し、第2行はその強度に対する予想標準偏差 $\sigma_N(i)$ を表す。

【0024】クロミナンスデジタル画像チャンネル $gm(x, y)$ 、 $ill(x, y)$ は、クロミナンスプロセッサ40にライン11cによって入力され、望みどおりに調整されてよい。例えば、クロミナンスプロセッサ40の動作は、見かけの飽和度を増加すべく、1.0より大きい定数によってクロミナンスデジタル画像チャンネルをスケール変更することでもよい。クロミナンスプロセッサ40の動作は、本発明特有の関連性を有するものでなく、結果的には、更に議論されることになるが、本発明の実施例では、クロミナンスプロセッサ40の出力はその入力と一緒に維持される。

【0025】鮮鋭化プロセッサ20から出力されたデジタル画像チャンネル出力、及びクロミナンスプロセッサ40から出力されたデジタル画像チャンネルは、赤、緑及び青のデジタル画像チャンネルを構成するデジタル画像への逆変換のためのRGBコンバータ30に入力される。この変換は、再度マトリックス・ローテーションを用いて実行される（即ち、コンバータ10によって実行された前のカラーローテーションマトリックスの反転による）。3×3のマトリックスの反転は公知であるので、更に議論することをしない。RGBコンバータ30

の出力は、実行者の好みに対して鮮鋭化されたデジタル画像である。

【0026】好ましい実施例において述べたように、鮮鋭化プロセッサ20は、輝度デジタル画像チャンネルのみに基づいて動作する。しかし、他にとり得る実施例では、鮮鋭化プロセッサは、赤、緑及び青のデジタル画像チャンネルのそれぞれに適用されうる。かかる場合、デジタルカラー画像信号（RGB信号）は、鮮鋭化プロセッサ20に直接適用されることになるだろう。

【0027】鮮鋭化プロセッサ20のブロックダイアグラムを示す図3では、デジタル画像チャンネル $n(x, y)$ が、ベDESTAL・スプリッター50によって2つの部分に、即ちベDESTAL信号とテクスチャー信号とに分離されるのが示される。ベDESTAL・スプリッター50の好ましい実施形態は、図5に示され、テクスチャー信号 $n_{t,xt}(x, y)$ とベDESTAL信号 $n_{b,ed}(x, y)$ とを出力する。テクスチャー信号 $n_{t,xt}(x, y)$ は、本質的には、画像ノイズだけでなく画像の細部をも含む。ベDESTAL信号 $n_{b,ed}(x, y)$ は、概念的には、ベDESTAL信号が遷移エッジを含むところである大きな閉塞的な境界を包含した画像領域以外は、平滑な信号である。好ましい実施例では、テクスチャー信号及びベDESTAL信号の合算は、デジタル画像チャンネルである。この理由のため、デジタル画像チャンネルは、デジタル画像チャンネルを双方で本質的に構成する2つのチャンネルに分離されてしまっていると言える。ベDESTAL・スプリッター50の他にとり得る実施例は、図5Aに示され、本質的には、線形FIRフィルタを構成する。かかる実施例では、ベDESTAL信号 $n_{b,ed}(x, y)$ は、低域通過信号に本質的に等価であり、テクスチャー信号 $n_{t,xt}(x, y)$ は、高域通過信号に本質的に等価である。他の空間周波数分割も考えられるので、当業者であれば、本発明は、テクスチャー信号とベDESTAL信号のどんな数による分割であっても効果的な結果を生むだろうことを理解するだろう。例えば、図5Bは、デジタル画像チャンネルをベDESTAL信号 $n_{b,ed}(x, y)$ とテクスチャー信号 $n_{t,xt}(x, y)$ とに分離すべく非線形フィルタを使用する他にとり得るベDESTAL・スプリッターを示す。

【0028】図3を再度参照するに、デジタル画像チャンネル $n(x, y)$ 、 $n_{t,xt}(x, y)$ 、及びノイズテーブル6がテクスチャー修正器70に入力される。テクスチャー修正器70の目的は、ノイズに過敏な方法で風景の細部の大きさを強調することにある。局所的な信号／ノイズ比（SNR）の推定値は、ノイズテーブルによって供給さ

れるような所与の強度レベルに対する予想標準偏差に関する情報を使用してなされる。この局所的なSNRは、テクスチャー信号の局所的なレベルに付与された強調レベルを関連付ける増強ファクターを設定するのに用いられる。この手順は、以下で詳細に説明されるだろう。テクスチャー修正器70の出力は、強調された強調テクスチャー信号 $n'_{\text{tex}}(x,y)$ である。更に、ベデスタル信号 $n'_{\text{ped}}(x,y)$ は、エッジがより高い鮮明度とシャープネスとを有するように見えるようにするエッジコントラストの増加を目的として、ベデスタル修正器60に入力される。ベデスタル修正器60の目的は、アーチファクトを生成することなく画像エッジを強調することにある。ベデスタル修正器60によって採用される方法は、以下で詳細に説明されるだろう。ベデスタル修正器60の出力は、強調された強調ベデスタル信号 $n'_{\text{ped}}(x,y)$ である。

【0029】ベデスタル修正器60及びテクスチャー修正器70の出力は、鮮鋭化プロセッサ20からのデジタル画像チャンネルを生成すべく強調テクスチャー信号 $n'_{\text{tex}}(x,y)$ と強調ベデスタル信号 $n'_{\text{ped}}(x,y)$ とを加算する、加算器80に入力される。強調された強調デジタル画像チャンネル $n'(x,y)$ は次のように表現される。

【0030】

【数3】

$$n'(x,y) = n'_{\text{tex}}(x,y) + n'_{\text{ped}}(x,y)$$

図4は、鮮鋭化プロセッサ20の他にとり得る実施例を示し、構成要素の配置に対する小さな変更は、たいいてい場合は鮮鋭化プロセッサ20の出力にほとんど影響を与えないことを図示する。これに関すると、ベデスタル・スプリッター50は、テクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ と回避信号 $a(x,y)$ とを出力する。回避信号 $a(x,y)$ は、画像内のエッジの位置を決定するベデスタル・スプリッター50によって計算された中間的な信号である。この信号*

$$n'(x,y) = a(x,y)n_{\text{tex}}(x,y) + (1-a(x,y))n_{\text{ped}}(x,y)$$

図5を参照するに、ベデスタル・スプリッター50内に入力されたデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、低域通過信号 $n_{\text{lo}}(x,y)$ と高域通過信号 $n_{\text{hi}}(x,y)$ とに周波数スプリッター94によって分割される。高域通過及び低域通過信号を発生させる多くの公知技術があるので、周波数スプリッターは好ましくは、0.9ピクセルの標準偏差（シグマ）を有するガウスフィルターによって実現される。ガウスフィルターの好ましい標準偏差値は、画像サイズ※

$$g(i,j) = 1/(\text{sigma} \sqrt{2\pi}) \exp[-(i^2+j^2)/(2 \text{sigma}^2)]$$

ここで、 $g(i,j)$ は、 (i,j) 番目のピクセルでのガウスフィルター係数であり、sigmaは、ガウスフィルターの標準偏差であり（0.9）、 π は定数で、近似的に3.1415...である。

*の導出は、以下に説明されるだろう。回避信号の値の範囲は、0.0から1.0までである。 $a(x,y)=0.0$ である画像位置 (x,y) は、画像のエッジ領域に対応する。逆に、 $a(x,y)>0.0$ である値を有する画像位置 (x,y) は、画像細部若しくはノイズに対応する。前述のように、本発明の目的は、細部と、大きなエッジと、ノイズのある領域とに適用される強調を独立的に制御することを可能とすることにある。従って、鮮鋭化プロセッサ20からのデジタル画像チャンネル出力において、エッジ（ $a(x,y)=0.0$ ）はベデスタル修正器60によって強調され、画像細部若しくはノイズのある領域（ $a(x,y)>0.0$ であるような位置）は、テクスチャー修正器70によって強調されるのが望ましい。

【0031】この結果、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、ベデスタル修正器60に入力され、前と同じでテクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ がテクスチャー修正器70に入力される。ベデスタル修正器60とテクスチャー修正器70からの2つの出力結果、即ち強調テクスチャー信号 $n'_{\text{tex}}(x,y)$ と強調ベデスタル信号 $n'_{\text{ped}}(x,y)$ は、回避加算器81に入力される。回避加算器81は、3つの入力、即ち足し合わされるべき2つの信号 $n'_{\text{tex}}(x,y)$ 、 $n'_{\text{ped}}(x,y)$ と、アーチファクト回避信号 $a(x,y)$ とを必要とする。足し合わされるべき2つの信号は、変換を受けて、足し合わされるべき信号の1つが回避信号 $a(x,y)$ によって乗算され、他方が $(1-a(x,y))$ によって乗算されることになる。2つの変換された信号はその後加算される。回避加算器81によって $a(x,y)$ でスケール化（倍率変更）された信号入力は、“ $a(x,y)$ ”入力として知られ、回避加算器81によって $(1-a(x,y))$ でスケール化された信号入力は、“ $(1-a(x,y))$ ”入力として知られる。鮮鋭化プロセッサ20の本実施例の場合、回避加算器からの信号出力は、次のように表される。

【0032】

【数4】

※に従って変化してよい。標準偏差に対して0.9ピクセルという値は、1024×1536ピクセルサイズの画像で本発明を最適化することによって導出されたものである。このガウスフィルターは、2次元の循環的に対称なローパスフィルターであり、そのフィルター係数は、本業界において公知の次の公式によって導出されて良い。

【0033】

【数5】

【0034】好ましい実施例では、 i と j は、フィルター $g(i,j)$ に対する総数で49個の係数に対して、-3から+3までの範囲（-3と+3を含む）である。本分野において公知のその他の技術であって、計算上のコスト低減の目的

で、次のアプリケーションに対して水平及び鉛直の成分にガウスフィルタを分割する技術が存在することを注意されたい。いずれの場合でも、周波数スプリッター94は、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ にガウスフィルタ $g(i,j)$ を本分野において公知のたたみ込み処理によって適用する。上記のたたみ込みは次のように表されるのがよい。

【0035】

【数6】

$$n_{lp}(x,y) = \sum \sum n(x-i,y-j)g(i,j)$$

積算は、すべての i と j にわたり行われる。このたたみ込み処理から得た信号 $n_{lp}(x,y)$ は、低域通過信号である。低域通過信号は、周波数スプリッター94から出力される。更に、高域通過信号 $n_{hp}(x,y)$ は、次の関係によって導出された後、周波数スプリッター94から出力される。

【0036】

【数7】

$$n_{hp}(x,y) = n(x,y) - n_{lp}(x,y)$$

低域通過信号 $n_{lp}(x,y)$ は、以下で詳細に説明されるように、回避信号 $a(x,y)$ を形成する回避信号発生器104に入力される。テクスチャー信号発生器90は、高域通過信号 $n_{hp}(x,y)$ と回避信号 $a(x,y)$ の双方を受け、両信号はそこでテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ を生成するために乗算される。従って、テクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ は次のように表現されるだろう。

【0037】

【数8】

$$n_{txt}(x,y) = a(x,y) * n_{hp}(x,y)$$

テクスチャー信号発生器90によって計算されたテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ は、次にベデスタル・スプリッター50によって出力される。更に、図5の破線に示すように、回避信号 $a(x,y)$ は、選択的にベデスタル・スプリッター50によって出力されてよく、特に図4に示す鮮鋭化プロセッサ20の他にとり得る実施例の回避加算器81に出力を供給する。

【0038】ベデスタル信号発生器100は、輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ とテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ を受け、輝度信号からテクスチャー信号を減算し、ベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ を生成する。

【0039】

【数9】

$$n_{ped}(x,y) = n(x,y) - n_{txt}(x,y)$$

ベデスタル信号発生器100によって計算されたベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ は、その後ベデスタル・スプリッター50から出力される。

【0040】ベデスタル・スプリッター50の他にとり得る実施形態(50Aによって識別)は、図5Aに示される。ベデスタル・スプリッター50Aの他にとり得る実施形態に入力された輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、高域通過信号と低域通過信号とに、0.9ピクセルの標準偏差(シグマ)を有する上述のガウスフィルタを好ましくは備えた周波数スプリッター94によって、分割される。ガウスフィルタの好ましい標準偏差値は、画像サイズに従って変化してよい。標準偏差に対して0.9ピクセルという値は、1024×1536ピクセルサイズの画像で本発明を最適化することによって導出されたものである。周波数スプリッター94は、ガウスフィルタ $g(i,j)$ をデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ に上述したたたみ込み処理によって適用する。

【0041】このたたみ込み処理から得た信号 $n_{lp}(x,y)$ は、低域通過信号である。低域通過信号は、周波数スプリッター94から出力される。更に、高域通過信号 $n_{hp}(x,y)$ は、次の関係によって導出された後、周波数スプリッター94から出力される。

【0042】

【数10】

$$n_{hp}(x,y) = n(x,y) - n_{lp}(x,y)$$

このベデスタル・スプリッターの他にとり得る実施形態では、低域通過信号 $n_{lp}(x,y)$ は、ベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ として、ベデスタル・スプリッターから出力される(即ち、かかる場合、ベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ は、制御信号で導出されるよりもむしろ、低域通過信号 $n_{lp}(x,y)$ と同等に設定される。これは、 $a(x,y)=1.0$ と等価である。)。同様に、テクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ は、高域通過信号 $n_{hp}(x,y)$ と同等に設定される。

【0043】この他にとり得る実施形態であるベデスタル・スプリッター50Aは、たたみ込みによってデジタルフィルタリング処理を簡易的に実行し、高域通過信号と低域通過信号とを、テクスチャー信号とベデスタル信号としてそれぞれ出力する。かかるベデスタル・スプリッターの実施形態50Aは、好ましい実施形態50より単純である。なぜなら、制御信号が全く使用されないか、或いは計算されないためである。しかし、かかる代替実施形態を採用する好み鮮鋭化器4から出力されるデジタル画像の画質は、好ましい実施形態のベデスタル・スプリッター50を採用する好み鮮鋭化器4から出力されたデジタル画像の画質よりも劣る。

【0044】当業者であれば、デジタル画像チャンネルを生成するための実質的に合計される2つの信号を発生するために使用されてよい多くの種の処理があることを認識するだろう。ベデスタル・スプリッターの好ましい実施例や他にとり得る実施例の双方は、デジタル画像チャンネルを生成するための実質的に合計される2つの信号にデジタル画像チャンネルを分割するために使用され

てよい例である。

【0045】図6を参照するに、回避信号発生器104のブロックダイアグラムが図示される。これに関して、低域通過信号 $n_l(x,y)$ は、方向性のない勾配（グラジエント）信号を生成する非方向性二乗勾配計算器106に入力される。この計算は、第1に、ピクセルとその水平右方向で隣接するピクセルとの間の差と同様に、ピクセル

$$ndg(x,y) = [n_{lp}(x,y) - n_{lp}(x-1,y)]^2 + [n_{lp}(x,y) - n_{lp}(x,y+1)]^2$$

$ndg(x,y)$ の値は、その後アーチファクト回避関数アプリケーションによってマップされ、回避信号発生器104の出力としてアーチファクト回避信号 $a(x,y)$ を生成する。

【0047】図6を参照するに、このマッピングは、非方向性二乗勾配信号 $ndg(x,y)$ を、次のように作成された※

$y > C_0$ かつ $y < C_1$ に対して、

$$av(y) = (1/2) (1 + \cos(\pi(y - C_0) / (C_1 - C_0)))$$

$y \geq C_1$ に対して、 $av(y) = 0$

$y \leq C_0$ に対して、 $av(y) = 1$

ここで、 C_0 と C_1 は、一定値

C_0 と C_1 に対する好ましい値は、入力データの範囲に従って変化するだろう。好ましい実施例の開発に使用された画像に於ける入力データ範囲は、0から4095までの範囲である。かかる場合、好ましい C_0 の値は996であり、好ましい C_1 の値は8400である。アーチファクト回避関数を構成する代替方法は次の式で表される。

【0049】

【数13】

$y \geq C_0$ かつ $y \leq C_1$ に対して、

$$av(y) = 1 - \sqrt{(y - C_0) / (C_1 - C_0)}$$

$y < C_0$ に対して、 $av(y) = 1$

$y > C_1$ に対して、 $av(y) = 0$

図7は、関数 $av(y)$ のプロット例を示す。

【0050】好ましい実施例では、 C_1 の値は、ガウスフィルターのシグマの（標準偏差の）大きさに関連する。 C_0 の値は、ガウスフィルターのシグマの（標準偏差の）大きさの平方に反比例する。好ましくは、 C_0 の値は、次の関係で決定されるのがよい。 $C_1 = 6804 / (\sigma \times \sigma)$ また、 C_0 は次の式によって C_1 に関連付けられる。 $C_0 = 0.127C_1 - 18$

アーチファクト回避信号 $a(x,y)$ は、アーチファクト回避関数アプリケーション108によって生成される。これは、図7に示すように、アーチファクト回避関数 $av(y)$ を非

※ルとその鉛直上方向で隣接するピクセルとの間の差を計算するものである。非方向性二乗勾配は、これら2つの差の平方の和である。非方向性二乗勾配信号、 $ndg(x,y)$ は、次式によって表される。

【0046】

【数11】

10※アーチファクト回避関数 $av(y)$ を通すことによって、実行される。好ましい実施例は、アーチファクト回避関数を次のように定義する。

【0048】

【数12】

方向性勾配信号 $ndg(x,y)$ に適用することによって実現される。数学的な結果は次式で示される。

【0051】

【数14】

$$a(x,y) = av(ndg(x,y))$$

図7に示すようなアーチファクト回避関数は、ルックアップテーブル（LUT）として最も効果的に実行される。

【0052】回避信号 $a(x,y)$ が空間フィルタリング処理されたバージョンのデジタル画像チャンネルから作成された制御信号の一例であることを理解することは有用である。始めに、一般化された線形空間フィルターが次式によって表される。

【0053】

40 【数15】

$$c(x,y) = \sum \sum d(x-i,y-j)g(i,j)$$

ここで、 $d(x-i,y-j)$ の値は、 (x,y) 番目のピクセルを囲む局所的なピクセル値を表し、 $g(i,j)$ の値は、ピクセル値に依存せず x と y から独立したデジタルフィルターの係数値を表す。ここで述べられる非線形空間フィルターは、線形空間フィルターの式により表現できない空間フィルターとして定義されるだろう。一般化された制御信号を入力信号に適用する出力は、入力信号との乗算的な関係を持つ。制御信号の適用例は、次式によって与えら

れる。

【0054】

【数16】

$$c(x,y) = h(x,y)d(x,y)$$

ここで、 $d(x,y)$ の値は、入力信号の (x,y) 番目のピクセル値を表し、 $h(x,y)$ の値は、制御信号の (x,y) 番目のピクセル値を表す。制御信号を入力信号に適用する結果は、制御信号が空間フィルタリング処理されたバージョンの入力信号から導出される場合には、非線形空間フィルターの一般的なカテゴリーに属することになる。回避信号 $a(x,y)$ は、空間フィルタリング処理されたバージョンのデジタル画像チャンネルから作成された制御信号の一例である。好ましい実施例において説明されたテクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ は、制御信号の適用とデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ に適用されたデジタルフィルターの適用とによって生成された非線形空間フィルターの一例である。

【0055】更に、デジタル画像処理の分野で公知である非線形フィルターのいくつかの他の例は、非線形フィルター係数 $q(i,j)$ が位置 x と y から独立していないときに、起こる。より具体的には、非線形フィルター係数 $q(i,j)$ が、 (x,y) の局所的な近傍範囲内のピクセル値 $d(x,y)$ に依存していることがよくある。好ましい実施例では、係数 $q(i,j)$ の合計は1.0であるが、これによって実施例の観点が限定されると見られるべきでない。デジタル画像処理の分野で公知であるメディアンフィルターは、非線形フィルターの一例であることを注意された

い。更に、Jonh-Sen Leeによる、IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PA 30 MI-2, No2 (1980年3月)に掲載された論文“Digital Image Enhancement and Noise Filtering by use of Local Statistics”において説明されたシグマフィルターもまた、非線形フィルターの一例である。この詳細な説明部における非線形フィルターは、画像信号 $d(x,y)$ の関数のみとして説明され、従って、FIRフィルター（非再帰形フィルター）である。非線形フィルターは、非線形フィルターは同様に、その係数が位置 (x,y) に依存している再帰形フィルターであってもよい。例えば、譲受され1999年11月8日に出願された係属中の特許出願シリアル番号09/457,036の発明の名称が“Adjusting the Contrast of a Digital Image with an Adaptive Recursive Filter”である出願では、フィルター係数が (x,y) の近傍の局所ピクセル値に依存して変化する適応再帰形フィルターが説明される。図5Bは、デジタル画像チャンネルをベデスタル信号 $n_{bsd}(x,y)$ とテクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ とに分割すべく非線形フィルターを利用する他にとり得るベデスタル・スプリッターを示す。この代替ベデスタル・スプリッターでは、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、ベデスタル発生器51に入力される。ベデ

スタル発生器51は、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ からベデスタル信号 $n_{bsd}(x,y)$ を、デジタル画像チャンネルへの非線形フィルターの適用によって、計算する。テクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ はその後、図示のように、加算器53にベデスタル信号 $n_{bsd}(x,y)$ のマイナスとデジタル画像チャンネルとを通すことによって、計算される。加算器53は、次の公式を適用してテクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ を決定する。

【0056】

【数17】

$$n_{bst}(x,y) = n(x,y) - n_{ped}(x,y)$$

このように、ベデスタル・スプリッター50Bは、ベデスタル信号 $n_{bsd}(x,y)$ とテクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ とを生成する。ベデスタル信号 $n_{bsd}(x,y)$ とテクスチャー信号 $n_{tst}(x,y)$ は、ベデスタル・スプリッター50Bから出力される。

【0057】次に図8を参照するに、図示されたベデスタル修正器60は、デジタル画像チャンネルの局所化された（2次元のウィンドウによって隔離された）領域にわたって計算された一若しくはそれ以上の画像特性に基づくような、デジタル画像チャンネルの形態論（モルロジー）に適応する鮮鋭化フィルターアルゴリズムである。フィルタリング処理アルゴリズムは、デジタル画像チャンネルの局所化された領域に渡る画像統計値に対するスケーリング関数を用いてトーンスケール変換を正規化し、その後スケール化されたトーンスケールを使用してデジタル画像チャンネルのエッジの構造を再構成する段階を含む。より具体的には、局所的なトーンスケール関数の形は通常、画像を処理する前に決定されるが、局所的なトーンスケール処理の正確なスケール化及び変換は、局所化されたいずれの領域における統計値からでも決定される。従って、領域が隔離された後、アルゴリズムの実行は、局所領域から所望の統計上の特性を特定し、統計上の特性に関連して正規化される局所的なトーンスケール変換を実行し、局所領域の中央のピクセルをトーンスケール変換を介してマッピングして、強調された中央ピクセル値を生成することを含む。ベデスタル修正器60のより詳細については、ここで参照によって本明細書に結合させる、譲受され1999年6月2日に出願された係属中の米国特許出願シリアル番号09/324,239のA. G. Gallagherによる発明の名称が“A Method for Enhancing the Edge Contrast of a Digital Image”である出願に説明される。

【0058】ベデスタル修正器60は、幾つかのモードで実行されてよい。より具体的でより詳細には、図8のブロックダイアグラムに示されるように、ベデスタル修正器60は、好ましくは第1のモードで入力ピクセル値を各領域に対する局所的な最大値と最小値にスケール化（倍率変更）し、スケール化された入力値を、正規化さ

れた座標によりトーンスケール関数に適用することによって、実行される。この変換処理によって得られた出力は、(入力に生成するために使用された) スケーリング関数の逆関数(逆スケーリング関数)を用いて処理され、強調された出力値を得る。或いは、ベデスタル修正器60を実行する第2のモードにおいて、各領域に対する局所的な最大値と最小値によって境界が定められた座標を有する局所的なトーンスケールが構築され、各中央ピクセル値がトーンスケール関数の境界が定められた座標を介してマップされる。これは、強調された出力信号を直接的に生成するだろう。第3のモードでは、トーンスケール関数の入力だけが逆スケーリング関数を用いてスケール化され、出力ピクセルは逆スケーリング関数を用いてスケール化される。第4のモードでは、トーンスケール関数の出力だけがスケール化され、出力ピクセルがスケーリング関数によって処理される。どのモードでも、トーンスケール関数の形は、画像にわたって固定されたままでよい。しかし、トーンスケール関数の形が、領域の統計的特性に依存して変化することが望ましいだろう。更に、正規化されたトーンスケール処理を入力されたデジタル画像チャンネルの略全てのピクセルに適用するのが一般的であるが、その方法をデジタル画像チャンネルの選択された領域のみに適用することが望ましいだろう。第2、第3及び第4のモードの詳細については、読者は、ここで参照により本明細書に結合される上述したシリアル番号09/324,239を参照されたい。これらの代替モードは、好ましい実施例(即ち、図8の第1のモード)において開示されたベデスタル修正器60によって得られる処理されたデジタル画像チャンネルと同一の処理されたデジタル画像チャンネルを提供する。

【0059】更に図8を参照するに、上述の第1のモードによるベデスタル修正器60を実現するための好ましい実施例のブロックダイアグラムが図示される。ベデスタル修正器60の好ましい実施例は、比較的高い解像度の、例えば高さが1024ピクセルで幅が1536ピクセルを有するデジタル画像チャンネルを参照して説明されるが、本発明は、より大きな或いは小さな画像解像度を有する画像チャンネルでも同様に動作することができることを注意すると理解が容易になる。画像解像度の選択は、ウィンドウのサイズに付随的な影響を有するだろう。即ち、5×5のウィンドウが、1024×1536の解像度に対しては、好ましいことが判明されているが、より高い解像度の画像センサの選択すれば、通常的には、より大きなウィンドウサイズが許容されるだろうし、より解像度の低いセンサに対しては、より小さなウィンドウサイズが許容されるだろう。

【0060】図9を参照するに、デジタル画像チャンネルのデジタル表現である各入力中央ピクセル110の値は、局所統計値を計算する局所統計値決定器116をまず通過する。局所領域112内に含まれる周囲ピクセル

114の値も同様に局所統計値決定器116を通過する。局所領域112及び入力ピクセル110は、デジタル画像チャンネルの空間領域を構成する。好ましい実施例では、各入力ピクセル110まわりの局所領域は、入力ピクセルを中心とする正方形の近傍として定義され、これに対して局所統計値が決定されている。好ましい実施例では、局所領域は、各辺が5個のピクセルである正方形の近傍である。図9は、好ましい実施例で実現される局所領域を示す。局所領域112内に含まれるピクセル114は、局所統計値決定器116に通された入力ピクセル110を囲む24個のピクセルとして示される(網掛けにより図示)。当業者であれば、本発明は、局所領域のサイズや形状が多様に変化しても動作すること、及び、用語“中央”の使用方法は、その領域の中心にあるピクセルというよりもむしろ、局所的に取巻くピクセルを有するピクセルを称することを認識するだろう。

【0061】図8において、各中央ピクセル110の値 u は、局所統計値決定器116とスケーリング関数求値器120とに入力される。更に、局所領域内のピクセル114の値は、局所領域の統計的特性を生成すべく、局所統計値決定器116に入力される。スケーリング関数生成器118は、各入力ピクセル110の値 u を正規化しそれにより第1の中間値 I を生成すべくスケーリング関数求値器120に適用されるスケーリング関数 $s(x)$ を生成するため統計的特性を使用する。統計的特性は、スケーリング関数 $s(x)$ の逆関数 $s^{-1}(x)$ を生成する逆スケーリング関数生成器122によっても使用される。第1の中間値 I はその後、トーンスケールアプリケーション124に適用され、トーンスケールアプリケーション124は、第2の中間値 I_2 を生成すべくトーンスケール関数生成器126によって提供されるトーンスケール関数を通して中間値 I をマップする。トーンスケールアプリケーション124からの出力中間値 I_2 はその後、逆関数アプリケーション128に適用され、逆関数アプリケーション128は、逆スケーリング関数生成器122により提供される逆関数 $s^{-1}(x)$ を使用することによって、システム画像空間における処理された値 u' を生成する。

【0062】より具体的には、局所統計値決定器116は、局所領域112と入力ピクセル110とに含まれる画像データを表す幾つかの特性を計算する。好ましい実施例では、局所統計値決定器116は、2つの局所統計値、即ち局所領域112と入力ピクセル110とから最大と最小のピクセル値を決定する。代替的に、局所統計値決定器116は、 n 個の最大ピクセル値の平均と m 個の最小ピクセル値の平均を決定しうる。ここで、 n と m は局所領域112に含まれるピクセルの数よりも充分小さい整数であり、例えば、 $n=m=3$ である。後で述べられるように、これらの局所統計値は、スケーリング関数 $s(x)$ と逆スケーリング関数 $s^{-1}(x)$ の生成時に利用される。

【0063】局所統計値決定器116によって決定され

10

20

30

40

50

る局所統計値はその後、スケーリング関数生成器118と逆スケーリング関数生成器122とを通る。好ましい実施例では、スケーリング関数は、次式で表現されるのがよい。

【0064】

【数18】

$$\frac{N-X}{N-n} = (n)s$$

ここで、Xは局所領域112からの最大ピクセル値を表し、Nは局所領域112からの最小ピクセル値を表す。スケーリング関数の目的は、図10に示すように、修正されたピクセル値がトーンスケール関数130への入力として使用されてよいように中央ピクセルの値を修正することにある。好ましい実施例では、このトーンスケール関数は、ルックアップテーブル(LUT)として適用される。好ましい実施例では、スケーリング関数の効果は、図10に示すように、入力値の区間[N X]を区間[0 1]に正規化(即ち、圧縮)することである。

【0065】同様の方法で、逆スケーリング関数生成器122は、逆スケーリング関数 $s^{-1}(x)$ を作成する。ここで、逆スケーリング関数 $s^{-1}(x)$ は、次式で表される。

【0066】

【数19】

$$s^{-1}(u) = u(X - N) + N$$

逆スケーリング関数の目的は、トーンスケール関数130から得られた出力値を区間[N X]で逆にスケール化することにある。スケーリング関数と逆スケール化は実際の逆関数であり、 $s^{-1}(s(u)) = u$ のように簡単に表すことができる。

【0067】入力ピクセル110の値は、中間値 $I = s(u)$ を生成すべくスケーリング関数求値器120に通される。ここで、Iは中間値であり、 $s(x)$ はスケーリング関数であり、uは入力ピクセル110の値である。中間値Iはその後、トーンスケールアプリアケータ124に通される。トーンスケールアプリアケータ124の目的は、局所領域112を基準にして入力ピクセル110の値のコントラストに影響を及ぼすことにある。トーンスケールアプリアケータ124は、中間値Iを修正することにより、第2の中間値 I_2 を作成する。トーンスケールアプリアケータ124は、トーンスケール関数130(即ち、 $f(x)$)を用いて中間値Iを修正する。従って、トーンスケールアプリアケータの機能は、次式で表現されるだろう。

$I_2 = f(I)$

ここで、 I_2 は第2の中間値であり、 $f(x)$ はトーンスケール関数であり、Iはスケーリング関数求値器120から出力された中間値である。

【0068】トーンスケール関数 $f(x)$ は、トーンスケール関数生成器126によって生成される。好ましい実施

例では、トーンスケール関数 $f(x)$ は、シグモイド(sigmoid)関数であり、ガウス型確率分布関数を積分することによって得られ、本技術分野において公知である。シグモイド関数は、積分されるガウス型確率関数の標準偏差 σ によって完全に特徴づけられる。トーンスケール関数 $f(x)$ は、次の式によって表現されるだろう。

【0069】

【数20】

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

好ましい実施例では、トーンスケール関数は、以下の式によって表されるように、ガウス分布の離散的なサンプルの総和を計算することによって見出される。

【0070】

【数21】

$$f(x) = \frac{\sum_{u=-a}^{u=a(2x-1)} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{u=-a}^{u=a} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right)}$$

ここで、 $2a$ はLUTのサンプル数である。好ましい実施例では、 $a = 50$ である。

【0071】 $x = 0.5$ で求められたトーンスケール関数 $f(x)$ の勾配は、次の関係式によって決定されることに注意する。

【0072】

【数22】

$$\gamma = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

ここで、 γ は、 $x = 0.5$ で求められたシグモイド関数の勾配であり、上述の総和の近似的な勾配であり、シグマは、ガウス型確率関数の標準偏差である。 $\gamma > 1.0$ の時、エッジの局所的な構造を再構築することによってデジタル画像チャンネルを鮮鋭化する処理がなされる。 $\gamma < 1.0$ の時、入力画像よりもよりソフトな外観を備えた画像を生成しようとする処理がなされる。好ましい実施例では、 $\gamma = 2.1$ 及び $\sigma = 0.19$ である。好ましい実施例では、トーンスケール関数 $f(x)$ は、局所統計値決定器116から出力された局所的統計値から独立しているので、多くのピクセルが処理されるにも拘らず、画像チャンネルごとに一度だけしか計算される必要がない。

【0073】図10では、トーンスケール関数の多様性が示され、そのうちの 하나가トーンスケール関数130として示され、ガウス型確率関数の関連する標準偏差 σ が示される。当業者であれば、シグモイド関数に加えて幅

広い種類の関数がトーンスケールアプリアケータ124の目的を達成することを認識するだろう。

【0074】トーンスケールアプリアケータ124から出力された第2の中間値 I_2 は、逆スケーリング関数アプリアケータ128に通される。加えて、逆スケーリング関数生成器122から出力された逆スケーリング関数 $s^{-1}(x)$ は、逆スケーリング関数アプリアケータ128に通される。逆スケーリング関数アプリアケータ128の目的は、第2の中間値 I_2 から処理されたピクセル値 u' を生成することである。逆スケーリング関数アプリアケータ128は、強調されたピクセル値を、逆スケーリング関数を求めることによって生成する。

$$u' = s^{-1}(I_2)$$

I_2 、 I を代入すると

$$u' = s^{-1}(f\{s(u)\})$$

ここで、 $s^{-1}(x)$ は逆スケーリング関数を表し、 $f\{x\}$ はトーンスケール関数を表し、 u は入力ピクセル110の値を表し、 u' は強調されたピクセルの値を表す。ベデスタル修正器60から出力されたデジタル画像チャンネルは、強調された強調ベデスタル信号 $n'_{ext}(x,y)$ である。

【0075】一般的には、ベデスタル修正器60からの処理されたピクセル値 u' を生成するプロセスは、デジタル画像チャンネルに含まれる各ピクセルに対応する処理されたピクセル値を生成すべく、デジタル画像チャンネルの全てのピクセルに対して繰り返される。これらの処理されたピクセル値は、寄せ集めとみなされるとき、処理されたデジタル画像チャンネルを形成する。或いは、処理されたピクセル値 u' を生成するプロセスは、デジタル画像チャンネルの部分集合の各ピクセルに対応する処理されたピクセル値を生成するため、デジタル画像チャンネルの部分集合のピクセルに対して繰り返されてよい。後者の場合、部分集合は、寄せ集めとみなされるとき、チャンネルの部分に対しての処理された画像を形成する。一般的には、本アルゴリズムのパラメータは、デジタル画像チャンネルよりも大きなエッジコントラストとより鮮明度の外観を備えた、強化されたデジタル画像チャンネルを作成するため調整されるだろう。

【0076】ベデスタル修正器60は、2つのパラメータの定義を要求する。即ち、局所領域のサイズ（鮮鋭化フィルタに対するウインドウサイズによって説明される）とトーンスケール変換の関数形（トーンスケール関数の勾配によって説明される）である。アルゴリズムは、ウインドウサイズがかなり小さく維持されるとき、例えば1024×1536のイメージャー（imager）に対して7×7ピクセルよりも大きくならないように維持されるとき、最良な結果を生む傾向にある。実際に、ウインドウサイズと局所トーンスケール関数の勾配の増加に伴い、画像は、“ペイント・バイ・ナンバー（paint-by-number）”アーチファクトを有し始める。更に、大きなウイ

ンドウは、画像の大きな閉塞境界の種のエッジのいずれの側でもテクスチャーを圧縮する傾向にある。なぜなら、最大値と最小値は、エッジの反対側で生じる傾向にあるからである。この影響は、ウインドウサイズを比較的小さく維持することで低減される。5×5ピクセルやそれより少ないピクセルのウインドウサイズは、1024×1536の解像度に対して典型的な条件において満足する結果を生成するのに一般的に好ましいと見出された。上述のように、他の適切なウインドウサイズは、他の画像解像度に対しても困難を伴わずして経験的に決定されてもよい。或いは、より大きなウインドウは、ユーザーがより大きなウインドウの鮮鋭化の影響を得るべく増加されたアーチファクトを進んで許容する場合、所与の解像度に対する一定の条件において受け入れられてよい。

【0077】ここで説明されたベデスタル修正器は、領域の統計的特性に従って中央ピクセルの値を制御するという効果、例えば中央ピクセルが局所最大値と局所最小値の略中間にある場合を除いて、領域の局所最小若しくは局所最大に向かって中央ピクセル値を駆動するという効果を有する。結果として、エッジの遷移は、入力画像よりも狭い範囲のピクセルにわたって生じることになり、原画像より鮮明で、より焦点が合った画像を作成することになる。更に、トーンスケール変換の出力は、例えば、領域の局所最大値と局所最小値によって境界が決定された統計的特性によって修正されるので、エッジ境界でのシステムのオーバーシュートやアンダーシュートが低減され、リングングアーチファクトは気がつかない程度になる。

【0078】本発明によるテクスチャー修正器70の詳細を図11で見ることができる。テクスチャー修正器70は、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ 、テクスチャー信号 $n_{ext}(x,y)$ 、輝度ノイズテーブル6及びクロミナンスチャンネル $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ を入力する。テクスチャー修正器70の出力は、強調テクスチャー信号 $n'_{ext}(x,y)$ である。テクスチャー修正器70の目的は、局所信号対ノイズ比（SNR）の推定値と、 $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ によって決定されるような局所カラーの推定値とに関連するファクターによりテクスチャー信号を増強することである。

【0079】従って、局所カラーを考慮しないと、高いSNRを有するデジタル画像チャンネルの領域と一致するテクスチャー信号の部分は、デジタル画像チャンネルの低いSNR領域と関連付けられるテクスチャー信号の部分に比較して、より高いレベルの増強を受けることになるだろう。例えば、鮮鋭化される画像が大きな領域の鮮明な青空を含むことを想定する。この領域における変調のみが、画像システムから発生するノイズである可能性が高い。他方、草原の変調は、画像システムノイズに加えて多くの草の穂先に起因した変調の結果である。この場合、変調を増強することは、風景の実際の変調に帰

することができるので、好ましい。本発明では、信号対ノイズ比は、例えば前述した2種の風景の領域間を、識別するために使用されてよい選別器として働くように推定される。

【0080】色のみを考慮すると、テクスチャー信号 $n'_{\text{tex}}(x,y)$ が、位置 (x,y) に関する局所カラーに依存して、より大きく小さくのいずれかで強調されることは望ましいだろう。例えば、鮮明な青空に発生するどのような細部であっても、フィルム粒子から簡易に派生するだろう。従って、カラー青に対応する原カラーデジタル画像のピクセルに適用される鮮鋭化を強調しない（デエンファシス）ことが望ましいだろう。これは、青色を備えた原カラーデジタル画像の位置に対するテクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ に適用されるゲインを低下することによって達成されてよい。

【0081】これに関して、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ 、テクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ 、及び輝度ノイズテーブル6は、局所SNR推定器160に入力される。局所SNR推定器160の目的は、後にテクスチャー信号の特定のピクセルに付与される増強レベルを決定するために使用されることになる局所的な信号対ノイズ比を推*

$$B(x,y) = sf_{\min} \quad \text{for } SNR(x,y) < SNR_{\min}$$

$$B(x,y) = sf_{\min} + (sf_{\max} - sf_{\min})(SNR(x,y) - SNR_{\min}) / (SNR_{\max} - SNR_{\min})$$

$$\text{for } SNR_{\min} < SNR(x,y) < SNR_{\max}$$

$$B(x,y) = sf_{\max}$$

$$\text{for } SNR(x,y) > SNR_{\max}$$

ここで、 sf_{\max} は sf_{\min} 以上であり、 SNR_{\max} は SNR_{\min} 以上である。好ましい実施例では、 sf_{\max} は3.5、 sf_{\min} は2.0、 SNR_{\max} は2.0、 SNR_{\min} は0.4である。

【0085】更に、クロミナンスチャンネル $qm(x,y)$ 、 $il1(x,y)$ は、カラーゲイン決定器135に入力される。カラーゲイン決定器135は、クロミナンスチャンネル $qm(x,y)$ 、 $il1(x,y)$ と、クロミナンスカラー空間の指定されたカラー領域からの位置 (x,y) の距離とによって表現されるような局所カラーに依存して、テクスチャー信号の各位置 (x,y) で適用する個々の増強のレベル $Bc(x,y)$ を決定する。局所カラーは、対象のピクセル（例えば、図9の中央ピクセル110）から計算されることができ、対象のピクセルを含むピクセルの局所近傍からサンプルされた一若しくはそれ以上のピクセルの値から導出されてよい。好ましい実施例では、カラーゲイン決定器135は、値 $qm(x,y)$ 、 $il1(x,y)$ に2次元のLUTを適用することによって、増強値 $Bc(x,y)$ を見出す。 $Bc(x,y)$ の一般的な値は、0から5.0までの範囲内である。LUTは円滑に変化する2つの入力変数の関数であるべきである。かかる関数の一例は、1998年1月7日に交付された欧州特許明細書0441558B1 “Improvement Relating to Control Data Arrays” に記載され、ここで参照により結合

* 定することである。好ましい実施例では、局所SNR推定器160の出力は、記号 $SNR(x,y)$ によって表現される、デジタル画像チャンネルの各ピクセルに対するSNRの一の推定値である。しかし、SNRは、デジタル画像チャンネルのピクセル位置の部分集合のみに対して計算されることも可能である。局所SNR推定器160は、以下でより詳細に説明される。

【0082】局所SNR推定器160の出力は、SNRゲイン決定器134に通される。SNRゲイン決定器134は、局所SNRの推定値が知られている場合、各特定のテクスチャー信号の位置 (x,y) で適用する個々の増強のレベル $B(x,y)$ を決定するように意図される。これは、例えば図15のプロットとして示されるLUTのようなルックアップテーブルの使用によって達成される。好ましい実施例では、このLUTは、単調増加する。LUT出力（ゲイン）は、LUT入力（SNRの推定値）の増加と共に増加する。

【0083】図15に示されるLUTに対する式は、次のように与えられる。

【0084】

【数23】

させる。カラーゲイン決定器135は、代替的に色に関係する一若しくはそれ以上の変数（好ましい実施例で記載された2よりも多い）の関数であってもよいことを注意されたい。一般的には、カラーゲイン決定器135は、1、2、若しくは3個の変数の関数であるだろうし、多次元LUTとして適用されてもよい。代替実施例として、カラーゲイン決定器135に入力されるカラー信号は、輝度／クロミナンスコンバータ10から出力されたクロミナンスチャンネルと同一である必要はない。例えば、赤、緑、及び青色のカラーチャンネルは、カラーゲイン決定器135に入力されうるが、緑－マゼンタ及び照度チャンネルが、輝度／クロミナンスコンバータ10から出力される。当業者であれば、カラーゲイン決定器135へのカラーチャンネルの入力に先行して原カラーデジタル画像に色変換を適用することによって、類似の結果が達成されてよく、かかる変換は、好ましい実施例の説明からは実質的に導出されないことは、認識されるだろう。

【0086】好ましい実施例では、カラーゲイン決定器135は、クロミナンスチャンネル $qm(x,y)$ 、 $il1(x,y)$ に2次元LUTを適用する。多次元LUTは、多変量ガウス関数を使用して形成されてよい。各多変量ガウス関数は、色領域極と称されるだろうし、平均及び平均に関す

る分散によって表現されてよい。各色領域極は、テクスチャー鮮鋭化特性が優遇的に扱われる色空間内の領域を表現する。色領域極は、統計学の分野では公知であるように、平均ベクトル m 及び分散マトリックス k によって表現される。好ましい実施例では、色領域極 0 、平均ベクトル m_0 に対して、次のように表される。

【0087】

【数24】

$$m_0 = \begin{bmatrix} gm_0 \\ ill_0 \end{bmatrix}$$

多次元関数の分散マトリックスは公知であり、色領域極 α に対して、

【0088】

【数25】

$$k_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{gm_0}^2 & \sigma_{gm_0} \sigma_{ill_0} \\ \sigma_{gm_0} \sigma_{ill_0} & \sigma_{ill_0}^2 \end{bmatrix}$$

である。好ましい実施例では、平均ベクトル m 及び分散マトリックスは、オペレータが、一若しくはそれ以上の画像に対して通常の材料特性（例えば、空、肌、草）を有しながら、対象ピクセルを選択するような、訓練手順によって決定されてよい。これらの選択されたピクセルの平均及び分散は、色領域極の平均 m と分散 k を決定する。平均ベクトル m 及び分散マトリックス k の実際の数値は、色及び／又はイメージングチェーン（imaging chain）全体の対数変換に依存する。好ましい実施例で *

$$B_c(x, y) = \mu + \sum_{i=0}^P \mu_i \exp \left[-\frac{1}{2} (w - m_i)^T k_i (w - m_i) \right]$$

ここで、 P は色領域極の数（好ましい実施例では、 $P=3$ ）、 w は、画像の局所領域の色を表すベクトルである。好ましい実施例では、

【0094】

【数30】

$$w = \begin{bmatrix} gm(x, y) \\ ill(x, y) \end{bmatrix}$$

である。処理 $(w - m_i)$ は、色の距離を表すことを注記する。 w の値は、処理を受ける選択ピクセルだけを使用して計算されてよいことを注記する。或いは、 w の値は、選択ピクセルを幾つかの数の取巻くピクセルと合わせて使用して、例えば画像処理の分野で公知の平均化処理を使用して、計算されてもよい。従って、値 w は、一点処理若しくは局所近傍処理のいずれかにより決定されてよい。また、 μ はカラーゲインのベース値である。好ましい実施例では、 $\mu=1$ である。最後に、 μ_i は色領

*は、3つの色領域極が定義される。色領域極 α は、肌を表す。この場合、

【0089】

【数26】

$$m_0 = \begin{bmatrix} -26 \\ -109 \end{bmatrix}, \text{及び} k_0 = \begin{bmatrix} 2000 & 400 \\ 400 & 550 \end{bmatrix}$$

となる。色領域極 1 は、空を表す。この場合、

10 【0090】

【数27】

$$m_1 = \begin{bmatrix} -50 \\ 200 \end{bmatrix}, \text{及び} k_1 = \begin{bmatrix} 400 & 20 \\ 20 & 1000 \end{bmatrix}$$

となる。色領域極 2 は草を表す。この場合、

【0091】

【数28】

$$20 m_2 = \begin{bmatrix} 153 \\ -69 \end{bmatrix}, \text{及び} k_2 = \begin{bmatrix} 800 & 0 \\ 0 & 600 \end{bmatrix}$$

となる。

【0092】従って、カラーゲイン決定器135は、次の数式を計算することによって、値 $B_c(x, y)$ を決定する。

【0093】

【数29】

域極 i のシャープネスの好ましい比である。より小さい鮮鋭化がなされる色領域極（肌や空）は、0より小さい μ_i の値を有するように望まれる。より大きい鮮鋭化がなされる色領域極（草）は、0より大きい μ_i の値を有するように望まれる。好ましい実施例では、 μ_0 、 μ_1 及び μ_2 は、それぞれ-0.5、-0.7、及び0.65である。従って、好ましい実施例では、カラー重みファクター若しくはカラーゲインファクターである値 B_c は、約0.3から約1.65までの範囲内である。

【0095】一般的には、カラーゲイン決定器135は、LUTとして実行される。図15Bは、かかるLUTの一例を示す。このLUTの出力は、2個以上の値を前提とすることができ、LUTは略連続関数であるといえることを注意されたい。LUTは、略連続関数であるので、値 B_c は、バイナリ値でない。多次元LUTを適用することは、画像処理分野では公知であり、ここで参照により結合させる、例えば1985年2月19日に発行された米国特許第4,500,919号“Color Reproduction System”

に記載されている。このディスプレイでは、白は約1.65の値、黒は約0.3の値を表す。

【0096】カラーゲイン決定器135は、ここでは、原カラーデジタル画像に対応するクロミナンスチャンネルに基づき処理するように記載されてきたが、ロミナンスチャンネルは、カラーゲイン決定器135へのクロミナンスチャンネルの入力に先行して、空間フィルタ若しくは色変換を用いて修正されることも可能である。更に、カラーゲイン決定器135は、ここでは、クロミナンスチャンネル $qm(x,y)$ 、 $ill(x,y)$ によって示されるような局所カラーに依存して、テクスチャー信号の各位置 (x,y) で適用する個々の増強レベル $B_c(x,y)$ を計算するように記載されてきたが、個々の増強レベル $B_c(x,y)$ は、代わりに、或いは追加的に、局所カラーに基づくエッジ*

$$n'_{txt}(x,y) = n_{txt}(x,y) * [(B(x,y)-B_m)*B_c(x,y)+B_m]$$

ここで、 B_m は、最小増強ファクターを表す係数で、好ましい実施例では、1である。その効果は、結果的に、カラー重み若しくはゲインファクター B_c が、指定された色領域のある一定の領域に色に関してより近いピクセルに対する高空間周波数の増幅（若しくは、減衰）と、指定された色領域のある一定の他の領域に色に関してより近いピクセルに対する高空間周波数の減衰とを引き起こすことである。他言すると、カラー重みファクター $B_c(x,y)$ は、指定された色領域のある一定の領域により近い対象ピクセルに対するより大きな（若しくはより小さな）ノイズ低減を引き起こす。

【0099】当業者であれば、テクスチャー信号（若しくは細部の大部分を含む信号）を強調するためにカラーゲインファクターがSNRゲインファクター $B(x,y)$ と共に使用されてよい多くの式があることを認識するだろうことを注意されたい。テクスチャー修正器70から出力されたこの強調テクスチャー信号 $n'_{txt}(x,y)$ は、その後図3中の加算器80（若しくは、図4に示された代替実施例の場合には、回避加算器81）に通される。

【0100】

【数32】

$$(B(x,y)-B_m)*B_c(x,y)+B_m < 1$$

のとき、強調信号の大きさは、原テクスチャー信号の大きさよりも小さい、即ち

【0101】

※

$$\sigma_R^2(x,y) = \sum p(x+i,y+j)^2 / 49 - (\sum p(x+i,y+j)/49)^2$$

ここで、 i と j は共に、分散値 $\sigma_R^2(x,y)$ の算出にふくまれる全体で49個のピクセルに対して、-3から+3までの範囲（3及び+3を含む）である。エッジでの分散の計算は、画像処理の分野で公知の技術であるミラーリングを必要とする。局所分散コンピュータ170の出力は、デジタル画像チャンネルにおける各ピクセルに対する局

*に適用される強調の独立制御を更に可能とすべく、ベDESTAL信号の各位置 (x,y) で適用されてよい。

【0097】SNRゲイン決定器134によって出力されたSNRゲインファクター $B(x,y)$ と、カラーゲイン決定器135から出力されたカラーゲインファクター $B_c(x,y)$ と、テクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ とは、その後テクスチャーブースター136に通される。テクスチャーブースター136の目的は、関連したゲインによりテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ の各値を倍増することである。テクスチャーブースター136の出力は、次式によって与えられる強調テクスチャー信号 $n'_{txt}(x,y)$ である。

【0098】

【数31】

※【数33】

$$|n_{txt}(x,y)| > |n'_{txt}(x,y)|$$

であることを注意されたい。従って、本発明がノイズのある領域で、

【0102】

【数34】

$$(B(x,y)-B_m)*B_c(x,y)+B_m < 1.0$$

になる場合、処理されたデジタル画像チャンネルは、好み鮮鋭化器2に入力されたデジタル画像チャンネルよりも少ないノイズを有するよう見えるだろう。

【0103】局所SNR推定器160の詳細なブロックダイアグラムが図12に示されるだろう。デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、まず局所分散コンピュータ170に入力される。局所分散コンピュータ170の目的は、アクティビティの局所推定値を獲得することである。好ましい実施例では、局所分散コンピュータ170は、7ピクセル×7ピクセルのウィンドウサイズにわたり局所分散 $\sigma_R^2(x,y)$ を計算するが、他にとりうるサイズのウィンドウが略同一の結果を以ってこのタスクを実行することが確認されている。

【0104】値のセットの局所分散の計算は、当業界において公知であり、次のように表されるだろう。

【0105】

【数35】

所分散である。

【0106】減算器172は、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ とテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$ の双方を入力する。減算器172の出力は、ベDESTAL信号 $n_{ed}(x,y)$ である。減算器172は、次の公式に従って、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ からテクスチャー信号 $n_{txt}(x,y)$

を抽出することによってベデスタル信号を算出する。

【0107】

【数36】

$$n_{ped}(x,y) = n(x,y) - n_{ext}(x,y)$$

このベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ は、ベデスタル・スプリッター50によって算出されたベデスタル信号と同一である。本発明の実際の実行時、ベデスタル信号は、一度だけ計算される必要があるだけである。

【0108】ノイズテーブル6とベデスタル信号 $n_{ped}(x,y)$ は、予測ノイズ決定器190に入力される。ノイズテーブルは、予測ノイズ値 $\sigma_N(x,y)$ とデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ の強度 i との間の関係を含む。好ましい実施例では、ノイズテーブルは、2列のテーブルであり、そのサンプルが2列のリストで以下に示される。第1列は、強度レベルを表し、第2列は、その強度レベルに対するノイズの予測標準偏差を表す。

【0109】<テーブル>

【0110】

【表1】

I	$\sigma_N(i)$
0	11.5
100	11.5
450	11.9
550	12.0
650	12.1
750	12.2
850	12.3
950	12.4
1050	12.3
1150	12.3
1250	12.3
1350	12.4
1450	12.4
1550	12.2
1650	11.9
1750	11.5
1850	11.4
1950	11.6
2050	12.1
2150	12.8
2250	13.8
2350	15.0
2450	16.4
2550	17.9
2650	19.9

ノイズテーブルは、4列のテーブルの観点から規定されてもよい。このとき、第1列は、強度 i を表し、第2列乃至第4列は、好み鮮鋭化器2に入力されるデジタル画像チャンネルの赤、緑、及び青のチャンネルにおいてそれぞれ予測されるノイズの予測標準偏差を表す。この場合、輝度チャンネル $n(x,y)$ の強度レベル i に対するノイズの予測標準偏差は、輝度チャンネルを生成するのに使用されるカラーローテーションマトリックスの係数に依存し、次式で与えられる。

【0111】

【数37】

$$\sigma_n(i) = \text{sqrt}((\sigma_r(i) * \text{rcoef})^2 + (\sigma_g(i) * \text{gcoef})^2 + (\sigma_b(i) * \text{bcoef})^2)$$

ここで、 $\sigma_n(x,y)$ は、輝度チャンネル $n(x,y)$ の強度レベル i に対するノイズの予測標準偏差である。同様に、 $\sigma_r(x,y)$ 、 $\sigma_g(x,y)$ 、及び $\sigma_b(x,y)$ は、強度 i でのそれぞれ赤、緑、及び青のデジタル画像チャンネルのノイズの予測標準偏差であり、 rcoef 、 gcoef 、及び bcoef は、輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ を生成するために使用されるカラーローテーションマトリックスの係数である。上述したように、好ましい実施例では、これら

【0112】

【数38】

$$\sigma_n(i) = 1/3 * \text{sqrt}(\sigma_r(i)^2 + \sigma_g(i)^2 + \sigma_b(i)^2)$$

従って、輝度デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ に対応するノイズテーブルは、供給されるか、予測ノイズ決定器190によって計算されるかのいずれかである。

【0113】予測ノイズ決定器190は、ベデスタル信号 $n_{\text{bsd}}(x,y)$ の強度レベルに対するノイズの予測標準偏差 $\sigma_n(x,y)$ の、強度に依存する推定値を出力する。予測ノイズ決定器190は、ベデスタル信号の強度をノイズの予測標準偏差 $\sigma_n(x,y)$ に関連させるルックアップテーブルを実行するか、上述のように予測ノイズを計算するかのいずれかである。予測ノイズ決定器190の出力 $\sigma_n(x,y)$ は、次のように表されるだろう。

【0114】

【数39】

$$\text{SNR}(x,y) = \text{sqrt}(\sigma_r^2(x,y) - \sigma_n^2(x,y)) / \sigma_n(x,y)$$

平方根演算を試みる前に、 $\{\sigma_r^2(x,y) - \sigma_n^2(x,y)\}$ の値が正であることを確認するためにチェックがされることを注意されたい。正でない場合、値 $\text{SNR}(x,y)$ は、0に設定される。

【0118】他の多数の信号対ノイズ比の推定値が構築されてもよいことを喚起する。例えば、局所SNR推定器160の代替実施例が図13に示される。この実施例の目的は、局所SNRの推定値を図12に示された手段よりも計算量がより少ない手段によって提供することである。この代替実施例では、ノイズと信号分散の双方は、ガウス分布していると想定されて、標準偏差よりも平均絶対偏差(MAD)の使用を可能とする。平均絶対偏差の計算は、計算量の多い平方根演算及び自乗演算を必要としない。この実施例では、テクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ とデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ は、前述のように、ベデスタル信号 $n_{\text{bsd}}(x,y)$ を生成する目的のため減算器172に再び入力される。ベデスタル信号 $n_{\text{bsd}}(x,y)$ は、 $\sigma_n(x,y)$ の値を決定する予測ノイズ決定器190への入力として再使用される。

$$\sigma_n(x,y) = \sigma_n(n_{\text{ped}}(x,y))$$

値 $n_{\text{bsd}}(x,y)$ が、 $\sigma_n(i)$ が存在する i の値と一致しない場合、直線補間が $\sigma_n(n_{\text{bsd}}(x,y))$ に対する値を決定するために使用される。直線補間は、本業界において公知であるので、ここでこれ以上議論しないこととする。ノイズテーブルのプロットは、図14においてみることが

【0115】図14に示すようなノイズテーブルを生成する手順は、ここで参照により本明細書に結合させるGray他による1997年6月24日に発行された米国特許第5,641,596号、又はSnyder他による1999年7月13日に発行された米国特許第5,923,775号において見出すことができる。

【0116】SNR計算器180は、予測ノイズ決定器190から出力されたノイズの予測標準偏差 $\sigma_n(x,y)$ 、及び局所分散コンピュータ170から出力された局所分散 $\sigma_r^2(x,y)$ の双方を入力する。SNR計算器180は、信号の分散の比を計算することによって、局所信号対ノイズ比 $\text{SNR}(x,y)$ を推定する(局所分散が、信号に起因する分散とノイズに起因する分散との合計(RMSという意味)であるという想定をして)。従って、SNR計算器180の出力は、次に式に従った、各ピクセル位置での局所SNRの推定値である。

【0117】

【数40】

【0119】テクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ は、テクスチャー信号における局所平均絶対偏差を決定すべく、局所MAD計算器200に入力される。テクスチャー信号 $n_{\text{tex}}(x,y)$ の平均値が0であると想定することによって、局所MAD計算器200により使用される局所MADを計算するための公式は、次のように与えられる。

【0120】

【数41】

$$\text{MAD}_R(x,y) = \sum |n_{\text{tex}}(x+i, y+j)| / 49$$

i と j は好ましくは共に、平均絶対偏差の算出にふくまれる全体で49個のピクセルに対して、-3から+3までの範囲である。局所MAD計算器200は、局所SNRの推定値を決定するために必要な計算時に後に使用されることになる、平均絶対偏差の値 $\text{MAD}_R(x,y)$ を出力する。

【0121】ノイズテーブル調整器210の目的は、テクスチャー信号の計算する $\text{MAD}_R(x,y)$ と、デジタル画像チャンネルの計算する標準偏差 $\sigma_r(x,y)$ との間の差に対して補償をすることである。ノイズテーブル調整器2

10 は、標準偏差よりも平均絶対偏差をむしろ使用する目的のため輝度ノイズテーブルを修正する。上述のように、輝度ノイズテーブルが予測ノイズ $\sigma_{\text{。}}(i)$ と強度 i との関係を含むと仮定する。本業界において、ガウス分布のMADが次式によりその分布の標準偏差 σ に関係することは、知られている。

【0122】

【数42】

$$\text{MAD} = \text{sqrt} (2/\pi) \sigma$$

従って、輝度ノイズテーブルを、標準偏差の距離 (metric) からMADの距離に変換するため、 $\sigma_{\text{。}}(i)$ のそれぞれの値は、約0.8でスケール化される必要がある。

【0123】更に、この代替実施例と好ましい実施例との間には、局所アクティビティ測定の計算に使用される信号に関して差異がある。好ましい実施例では、デジタル画像チャンネルの分散が計算される。この代替実施例では、テクスチャー信号が $\text{MAD}_{\text{R}}(x,y)$ の値を計算するのに使用され、信号の平均が0であると仮定されるときに計算上の利点を提供される。従って、テクスチャー信号 $n_{\text{。}}(x,y)$ のデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ との関係は、このことを考慮するように輝度ノイズテーブルを調整すべく、理解されなければならない。この関係は、テクスチャー信号を生成するために使用されるデジタルフィルタリング処理が線形である場合にのみ、簡単に表現されることができる。このステップの目的のため、アーチファクト回避信号の影響は無視され、テクスチャー信号は高域通過信号と等価であると仮定される。係数 $h(i,j)$ を備えた一般的な $(n \times m)$ フィルタに対して、フィルタ処理された信号の分散は、次の関係により原信号の分散に関連付けされる。ここで、 $i = -(n-1)/2, \dots, (n-1)/2$ であり、 $j = -(m-1)/2, \dots, (m-1)/2$ である。

【0124】

【数43】

$$\sigma_{\text{。}}^2 = \sigma_{\text{。}}^2 \sum \sum h^2(i,j)$$

ここで、 $\sigma_{\text{。}}^2$ はフィルタ処理された信号の分散を表し、 $\sigma_{\text{。}}^2$ は原信号の分散を表し、累算は、 i と j にわたり実行される。

【0125】従って、本発明の場合、フィルタ $h(i,j)$ は、次のように表されると仮定される。

【0126】

【数44】

$$h(i,j) = \delta(i,j) - g(i,j)$$

*

$$\text{SNR}(x,y) = \text{sqrt}(\text{MAD}_{\text{R}}(x,y)^2 - \text{MAD}_{\text{N}}(x,y)^2) / \text{MAD}_{\text{N}}(x,y)$$

局所SNRの推定値は、各位置のテクスチャー信号に対する適切な増強ファクターの決定を可能とするための、

*ここで、 $\delta(i,j)$ は、 $i=0$ 且つ $j=0$ の時、値1であり、その他の場合は、値0であるデルタ関数である。この数式は、デジタル画像チャンネルをガウスフィルタ $g(i,j)$ によりぼかし、デジタル画像チャンネルからの結果を抽出することによってテクスチャー信号を生成する前述の処理を考慮する。従って、この説明を考慮すると、ノイズテーブル調整器210は、デジタル画像チャンネルよりもテクスチャー信号の局所アクティビティの推定値を考慮するファクターによって輝度ノイズテーブルの各値をスケール化しなければならない。このファクター f は次のように表される。

【0127】

【数45】

$$f = \text{sqrt} (\sum \sum h(i,j)^2)$$

ここで、累算は、 i と j にわたり実行され、 $h(i,j)$ は、前に記載されたとおりである。輝度ノイズテーブルが分散よりも標準偏差のユニットにあるので、結果の平方根が採用される。

【0128】従って、ノイズテーブル調整器210の演算は、次の値に等しいファクター m により輝度ノイズテーブルの各エントリをスケール化することであり、

【0129】

【数46】

$$m = f * \text{sqrt} (2/\pi)$$

標準偏差よりもMADの計算、及びデジタル画像チャンネルよりもテクスチャー信号を用いた計算に対する補償を目的とする。

【0130】ノイズテーブル調整器210から出力された修正ノイズテーブルは、ノイズから予測MADの推定値 $\text{MAD}_{\text{N}}(x,y)$ を得る目的のため、予測ノイズ決定器190に入力として通される。予測ノイズ決定器190は、 $n_{\text{。}}(x,y)$ のそれぞれの値に対する値 $\text{MAD}_{\text{N}}(x,y)$ を決定するため修正ノイズテーブルを使用する。予測ノイズ決定器190の出力は、デジタル画像チャンネルの各位置での値 $\text{MAD}_{\text{N}}(x,y)$ である。

【0131】図13に示された代替実施例のSNR計算器180は、好ましい実施例のSNR計算器180と実質的に同一の役割を果たす。SNR計算器180の目的は、デジタル画像チャンネルの各位置で推定されたSNRの値を出力することである。この結果、SNR計算器180は、次式を計算する。

【0132】

【数47】

局所SNRからの出力、及び図11に示すゲイン決定器134への入力である。

【0133】要約すると、ベデスタル・スプリッター50の使用は、画像を画像細部を含む信号と、大きな画像エッジを主に含むその他の信号とに分解し、エッジとテクスチャーとに適用される強調の独立した制御を可能とする。エッジは、エッジコントラストを増加し、且つ境界のアーチファクトを回避するため、形態学的な処理によって再構築される。テクスチャーは、局所信号対ノイズ比の推定値と、本発明による局所カラーの推定値とを考慮して強調される。

【0134】本発明は、好ましい実施例を参照して説明されてきた。本発明の観点及び精神から逸脱することなく、種々の変更が好ましい実施例に対してなされてよい。例えば、好ましい実施例では、局所SNRの計算は、デジタル画像チャンネルの各ピクセルに対してなされる。しかし、SNRの計算は、計算上のコストを低減し、N番目のピクセルごとに対してなされ、反復又は補間されることもできるだろう。局所SNRの計算は、デジタル画像チャンネル $n(x,y)$ の局所分散計算を参照して説明された。更に、代替実施例は、テクスチャー信号 $n_{tex}(x,y)$ に関するMAD計算の使用に基づいて推定されてよい方法について言及した。当業者であれば、局所SNRは、テクスチャー信号に関する分散計算を実行するか、或いはデジタル画像チャンネル $n(x,y)$ に関するMAD計算を実行することによって、推定されてもよいことを認識するだろう。このような好ましい実施例に対する修正は、本発明の観点から実質的に導出されない。

【図面の簡単な説明】

【図1】図11及び図15Bとの関係でより詳細に説明される発明を含む本発明の方法の全体を示すブロックダイアグラムである。

【図2】図1の好み鮮鋭化器のより詳細なブロックダイアグラムである。

【図3】図2の鮮鋭化プロセッサの第1の実施例のブロックダイアグラムである。

【図4】図2の鮮鋭化プロセッサの第2の実施例のブロックダイアグラムである。

【図5】図3のベデスタル・スプリッターの第1の実施例を示すブロックダイアグラムである。

【図5A】第2の実施例を示すブロックダイアグラムである。

【図5B】第3の実施例を示すブロックダイアグラムである。

【図6】図5の回避信号発生器の第1の実施例のブロックダイアグラムである。

【図7】図6の回避信号発生器によって適用されるアーチファクト回避関数の一例である。

【図8】図3のベデスタル修正器のブロックダイアグラムである。

【図9】中央ピクセル及び画像の関連する局所領域を示す画像部分の一例である。

【図10】幾つかのトーンスケール関数の一例である。

【図11】図3のテクスチャー修正器の本発明によるブロックダイアグラムである。

【図12】図11の局所SNR推定器の第1の実施例のブロックダイアグラムである。

【図13】図11の局所SNR推定器の第2の実施例のブロックダイアグラムである。

【図14】ノイズテーブルを生成するのに使用される関数のプロット図である。

【図15A】図11のSNRゲイン決定器により使用されるルックアップテーブル(LUT)のプロット図である。

【図15B】図11のカラーゲイン決定器により使用されるルックアップテーブル(LUT)のプロット図である。

【符号の説明】

- 2 好み鮮鋭化器
- 6 ノイズテーブル
- 10 輝度／クロミナンスコンバータ
- 11a 輝度ライン
- 11b ノイズテーブルライン
- 11c クロミナンスライン
- 20 鮮鋭化プロセッサ
- 30 RGBコンバータ
- 40 クロミナンスプロセッサ
- 50 ベデスタル・スプリッター
- 50A 代替ベデスタル・スプリッター
- 50B 代替ベデスタル・スプリッター
- 51 ベデスタル発生器
- 53 加算器
- 60 ベデスタル修正器
- 70 テクスチャー修正器
- 80 加算器
- 81 回避加算器
- 90 テクスチャー信号発生器
- 94 周波数スプリッター
- 100 ベデスタル発生器
- 104 回避信号発生器
- 106 勾配計算器
- 108 アーチファクト回避関数アプリケーション
- 110 入力中央ピクセル
- 112 局所領域
- 114 周囲ピクセル
- 116 局所統計値決定器
- 118 スケーリング関数生成器
- 120 スケーリング関数求値器
- 122 逆スケーリング関数生成器
- 124 トーンスケールアプリケーション
- 126 トーンスケール関数生成器
- 128 逆トーンスケール関数アプリケーション

37

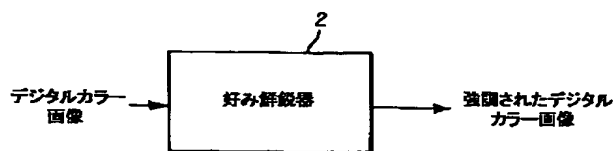
38

130 トーンスケール関数
 134 SNRゲイン決定器
 135 カラーゲイン決定器
 136 テクスチャブースター
 160 局所SNR決定器
 170 局所分散計算機

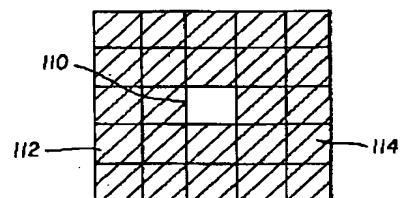
*

*172 減算器
 180 SNR計算器
 190 予測ノイズ決定器
 200 局所MAD計算器
 210 ノイズテーブル調整器

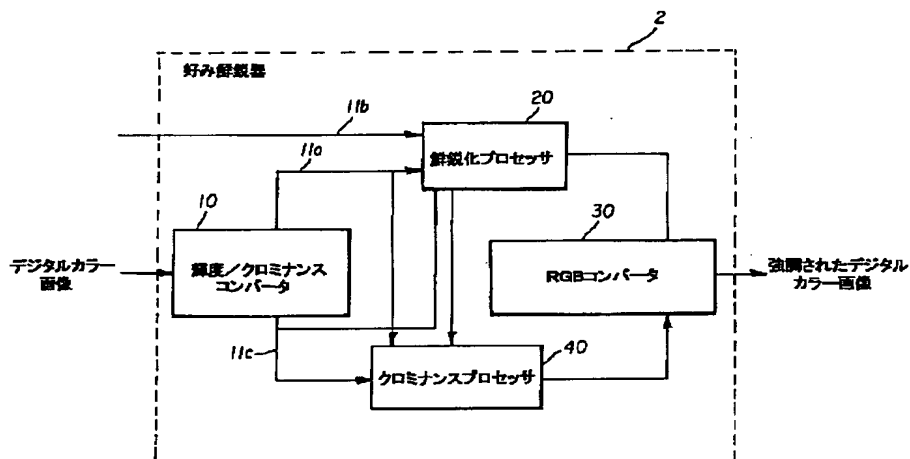
【図1】



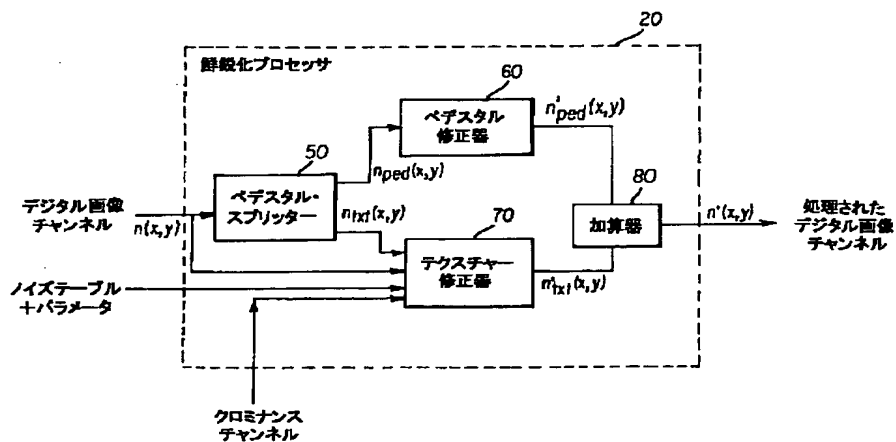
【図9】



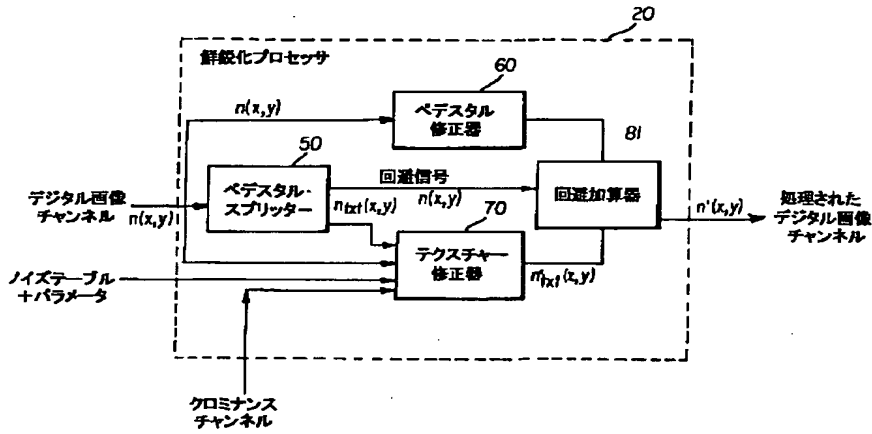
【図2】



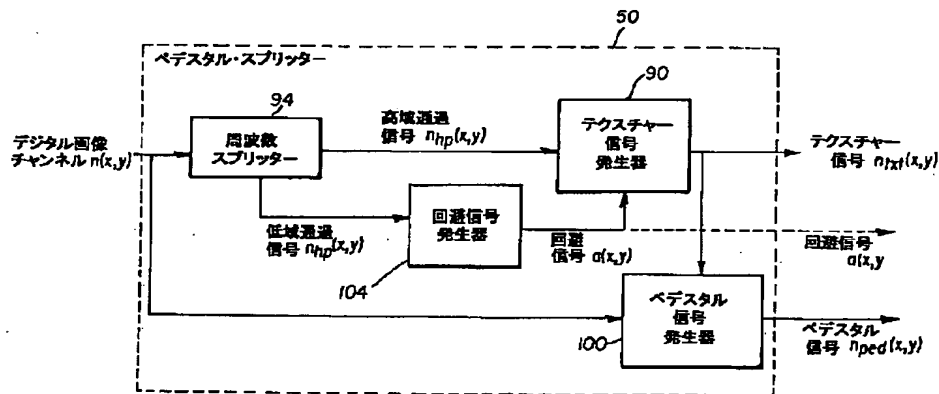
【図3】



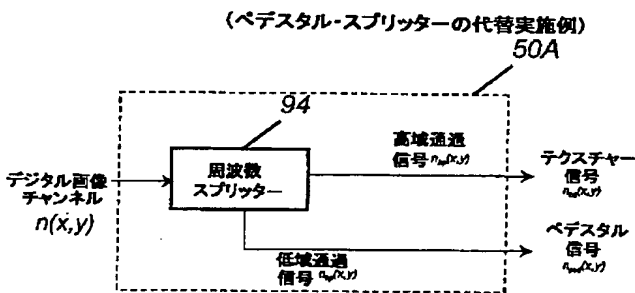
【図4】



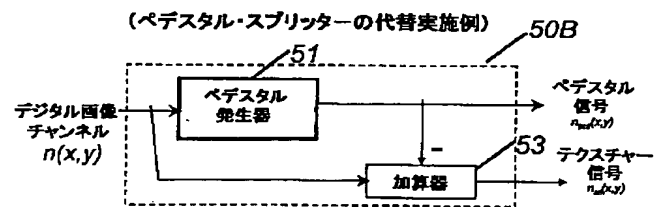
【図5】



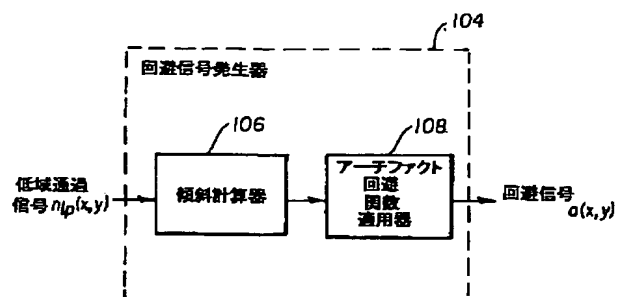
【図5A】



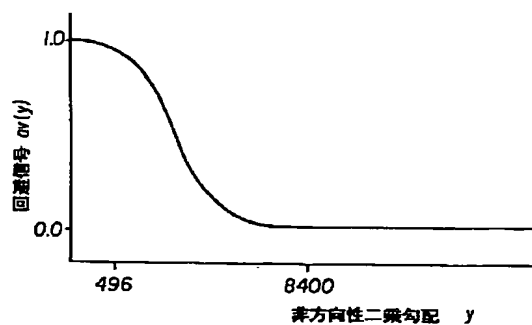
【図5B】



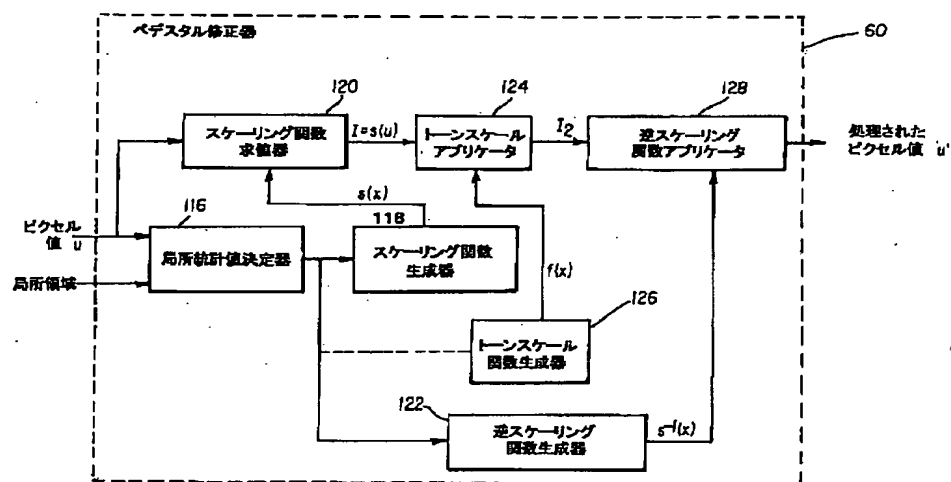
【図6】



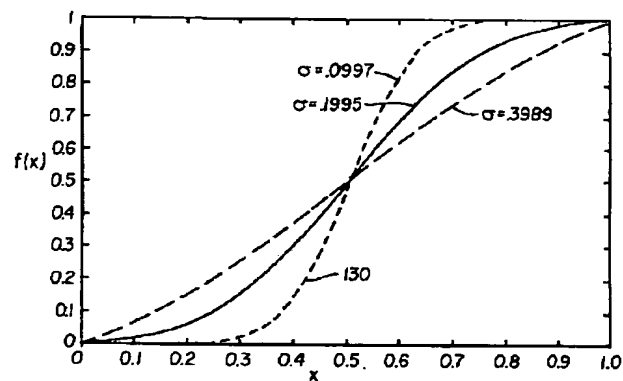
【図7】



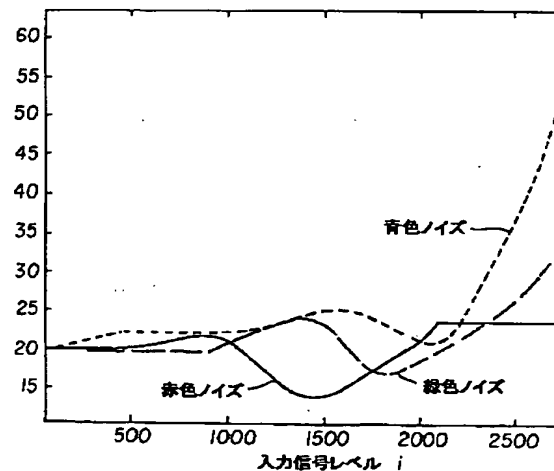
【図8】



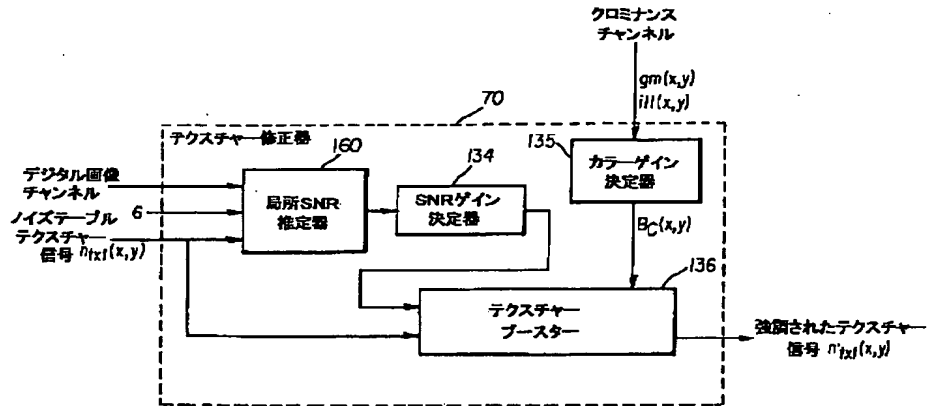
【図10】



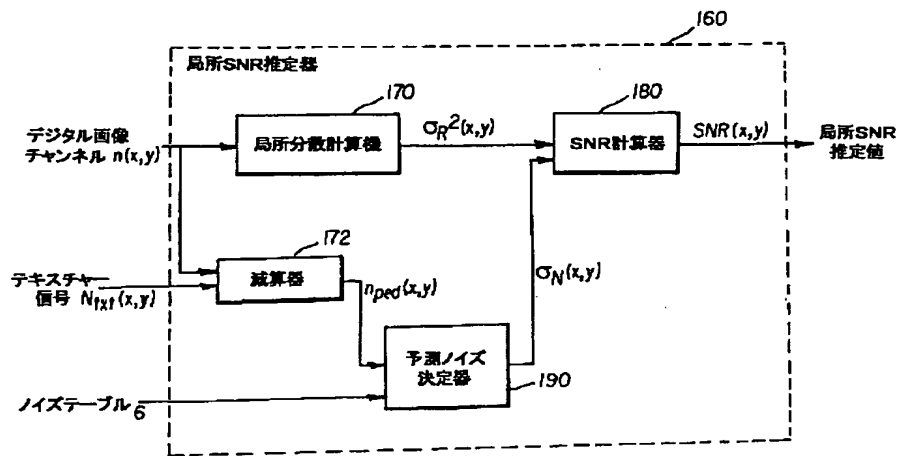
【図14】



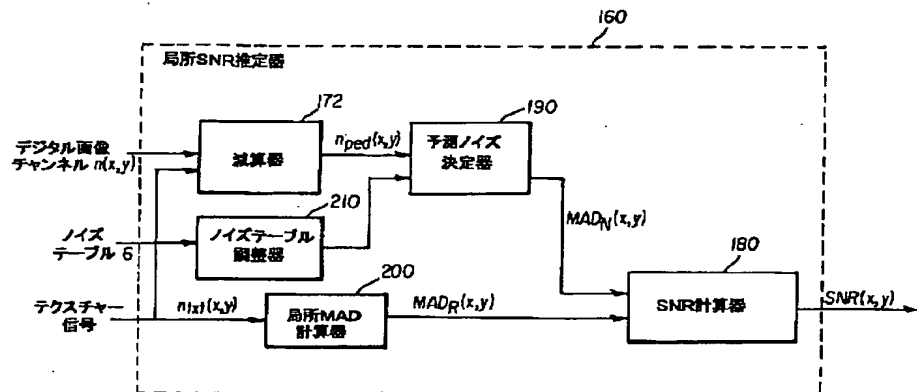
【図11】



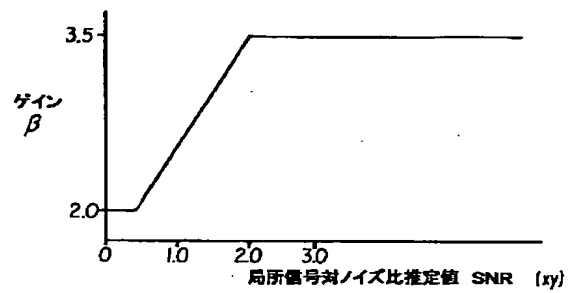
【図12】



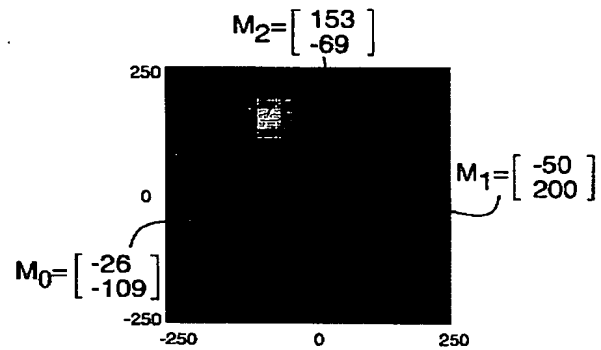
【図13】



【図15A】



【図15B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 4 N 1/60		H 0 4 N 1/40	D
(72)発明者	エドワード ビー ジンデル アメリカ合衆国 ニューヨーク 14618 ロチェスター ボニー・ブレイ・アヴェニ ユ 394	F ターム (参考)	5B050 DA04 EA09 EA14 EA16 5B057 CA01 CA08 CA16 CB01 CB08 CB16 CE03 CE06 CE16 DB06 DB09 5C077 LL08 LL09 MP08 PP03 PP32 PP46 PP48 PQ12 PQ18 5C079 HB01 LA15 MA11 NA02 5L096 AA02 AA06 DA01 EA39 GA55